

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'éducation

Le laboratoire par enquête guidée pour provoquer un changement conceptuel chez la population
étudiante en *Chimie des solutions*

par

Véronique Turcotte

Rapport d'innovation présenté à la Faculté d'éducation

en vue de l'obtention du grade de

Maîtrise en éducation (M.Ed)

Enseignement collégial, Bloc innovation pédagogique

Décembre 2020

© Véronique Turcotte, 2020

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'éducation

Le laboratoire par enquête guidée pour provoquer un changement conceptuel chez la population
étudiante en *Chimie des solutions*

par

Véronique Turcotte

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Jonathan Fournier

Évaluateur externe

Martine St-Germain

Directrice de la recherche

Rapport d'innovation accepté le 23 décembre 2020

RÉSUMÉ

C'est dans le cadre d'une démarche de *Scholarship of Teaching and Learning* (SoTL) que le laboratoire par enquête guidée a été employé pour réduire la prévalence de conceptions alternatives, qui sont des représentations internes en inadéquation avec la théorie scientifique, chez la population étudiante du cours de *Chimie des solutions*. Dans ce type de laboratoire, l'enseignant fournit la question de recherche et l'étudiant élabore la méthode expérimentale et choisit le mode d'analyse des données. Comme les conceptions alternatives peuvent compromettre l'apprentissage, un projet d'innovation pédagogique a été développé à travers une démarche SoTL. Il comprend une portion de classe inversée suivie d'un laboratoire par enquête guidée portant sur des notions étudiées en chimie au collégial, soit les notions de solution saturée, insaturée et sursaturée. Au total, 107 étudiants inscrits au cours de *Chimie des solutions* à l'hiver 2020 ont participé au projet d'innovation. Les résultats du prétest, un questionnaire conceptuel à plusieurs paliers, montrent que la représentation macroscopique des notions étudiées est la moins bien maîtrisée avec un score de 39 %. Les résultats du posttest révèlent un gain conceptuel pour ce mode de représentation, en particulier chez les garçons. Bien que faible, ce gain semble indiquer que cette méthode pédagogique pourrait être prometteuse. Trois conceptions alternatives ont également été mises en lumière: le précipité rend la solution saturée, une solution saturée peut avoir deux concentrations différentes aux mêmes conditions et le soluté se combine avec le solvant une fois dissout. La plupart du temps, le raisonnement des étudiants est mauvais parce qu'il implique une heuristique mal employée.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
PREMIER CHAPITRE. ANALYSE DE LA PRATIQUE	3
1. ORIGINE DES CONCEPTIONS ALTERNATIVES.....	3
2. DIFFICULTÉS DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA CHIMIE.....	4
3. IMPACTS DES CONCEPTIONS ALTERNATIVES SUR L'APPRENTISSAGE	6
4. QUESTION DE RECHERCHE ET SOLUTION PROPOSÉE	8
4.1 Retombées	9
DEUXIÈME CHAPITRE. APPROPRIATION DES CONNAISSANCES.....	10
1. CONCEPTIONS ALTERNATIVES	10
1.1 Définition	10
1.2 Changement conceptuel	12
2. CONCEPTS DE SOLUTION SATURÉE, INSATURÉE ET SURSATURÉE	12
2.1 Niveaux de représentation de la matière	13
2.2 Conceptions alternatives en lien avec le concept de solubilité	15
3. LABORATOIRE PAR ENQUÊTE GUIDÉE	17
3.1 Guidance	18
TROISIÈME CHAPITRE. CONCEPTION DE L'INNOVATION	20
1. CONTEXTE D'IMPLANTATION	20
2. PERSONNES IMPLIQUÉES	21
3. ÉTAPES DE DÉROULEMENT	21
3.1 Séquence pédagogique	22
3.1.1 Classe inversée	22
3.1.2 Laboratoire par enquête guidée	24
3.2 Collecte de données	25
3.2.1 Questionnaire conceptuel	26
3.2.2 Entrevue individuelle	28
4. CRITÈRES D'ÉVALUATION.....	29
QUATRIÈME CHAPITRE. IMPLANTATION DE L'INNOVATION	32

1.	MODIFICATIONS	32
1.1	Écarts aux directives pédagogiques par les enseignants collaborant au projet	32
1.2	Contexte COVID-19	33
2.	ÉCHANTILLON	34
2.1	Posttest	35
2.2	Entrevues.....	36
3.	RÉSULTATS.....	37
3.1	Réponses au premier palier	38
3.1.1	Prétest.....	38
3.1.2	Posttest	41
3.2	Justification au deuxième palier.....	45
3.2.1	Justifications pour l’item Q2 portant sur les représentations sous-microscopique et macroscopique	45
3.2.2	Justifications pour l’item Q3 portant sur la représentation macroscopique... 50	
	CINQUIÈME CHAPITRE. ÉVALUATION DE L’INNOVATION	55
1.	PRINCIPALES DIFFICULTÉS CONCEPTUELLES RELEVÉES	55
1.1	Difficultés conceptuelles relevées pour l’item Q2 portant sur les représentations sous-microscopique et macroscopique	56
1.1.1	Conception alternative 1 : le précipité rend la solution saturée.....	56
1.2	Difficultés conceptuelles relevées pour l’item Q3 portant sur la représentation macroscopique	57
1.2.1	Conception alternative 2 : une solution saturée peut avoir deux concentrations différentes.....	59
1.2.2	Conception alternative 3 : le soluté se combine avec le solvant une fois dissout	60
2.	EFFETS DU LABORATOIRE PAR ENQUÊTE GUIDÉE	61
2.1	Biais possibles.....	61
2.2	Progression de la compréhension de l’item Q2 portant sur les représentations sous-microscopique et macroscopique	62
2.3	Progression de la compréhension de l’item Q3 portant sur la représentation macroscopique	63
2.3.1	Sous-groupe bonne réponse → mauvaise réponse	63
2.3.2	Sous-groupe mauvaise réponses → mauvaise réponse	66

2.3.3	Sous-groupe mauvaise réponse → bonne réponse	68
3.	RETOUR SUR LES OBJECTIFS DE L'INNOVATION PÉDAGOGIQUE	69
	CONCLUSION	71
1.	RAPPEL DU PROJET D'INNOVATION	71
2.	LIMITES DE L'INNOVATION ET PISTES D'AMÉLIORATIONS	73
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	75
	ANNEXE A. DEVOIR SUR LES CONCEPTS DE SOLUTION INSATURÉE, SATURÉE ET SURSATURÉE	80
	ANNEXE B. CONSIGNES POUR L'ÉLABORATION DE LA MÉTHODE POUR LE LABORATOIRE DE CONCEPTION	82
	ANNEXE C. DIRECTIVES TRANSMISES AUX ENSEIGNANTS POUR L'IMPLANTATION DE LA SÉQUENCE PÉDAGOGIQUE	84
	ANNEXE D. CERTIFICATION ÉTHIQUE.....	85
	ANNEXE E. FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT (FIC) ET QUESTIONNAIRES	87
1.	FIC ET PRÉTEST.....	87
2.	POSTTEST	95
	ANNEXE F. GUIDE D'ENTREVUE.....	98

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1.</i>	Les différents types de laboratoires	17
<i>Tableau 2.</i>	Description de l'échantillon expérimental pour les différentes phases de la collecte de données	34
<i>Tableau 3.</i>	Description de l'échantillon expérimental pour les entrevues (N = 8)	36
<i>Tableau 4.</i>	Résultats au premier palier de chaque item du prétest (N = 107)	38
<i>Tableau 5.</i>	Degré de confiance au prétest pour la réponse de l'item Q3 (N = 100)	39
<i>Tableau 6.</i>	Progression de la réussite et de la confiance des étudiants pour le prétest.....	42
<i>Tableau 7.</i>	Progression de la réussite de l'item Q3 (N=64)	43
<i>Tableau 8.</i>	Réponses et justifications d'étudiants au deuxième palier de l'item Q2	49
<i>Tableau 9.</i>	Réponses et justifications d'étudiants au deuxième palier de l'item Q3	51

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1.</i>	Trois niveaux de représentation pour les solutions insaturée, saturée et sursaturée (a. symbolique ; b. sous-microscopique; c. macroscopique).....	14
<i>Figure 2.</i>	Séquence pédagogique du projet d'innovation pédagogique	22
<i>Figure 3.</i>	Scénarimage de la capsule vidéo sur <i>Lightboard</i>	23
<i>Figure 4.</i>	Échéancier de la collecte de données	25
<i>Figure 5.</i>	Exemple d'item du questionnaire conceptuel	26
<i>Figure 6.</i>	Confiance au premier palier de l'item Q3 du prétest pour les filles (N=59) et les garçons (N=47).....	40
<i>Figure 7.</i>	Confiance au premier palier de l'item Q3 du prétest pour les sous-groupes <i>Bonne réponse</i> → <i>Bonne réponse</i> (N=19) et <i>Bonne réponse</i> → <i>Mauvaise réponse</i> (N=7).	44
<i>Figure 8.</i>	Premier palier de l'item Q2 au prétest.....	46
<i>Figure 9.</i>	Premier palier de l'item Q2 au posttest	48
<i>Figure 10.</i>	Premier palier de l'item Q3 au prétest et au posttest.....	50

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

[]	Concentration molaire volumique
CÉR	Comité d'Éthique à la recherche
COVID-19	<i>Coronavirus disease 2019</i>
ÉTS	École de technologie supérieure
FIC	Formulaire d'information et de consentement
MEC	Maîtrise en enseignement collégial
MGS	Moyenne générale au secondaire
MIO	Messagerie interne d'Omnivox
SoTL	<i>Scholarship of Teaching and Learning</i>

J'espère qu'en avant ya ben du beau. Juste du beau.

À la mémoire de ma douce amie Guigui.

REMERCIEMENTS

Cette recherche n'aurait pas pu être possible sans les étudiants qui ont accepté d'y participer : merci de vous être prêtés au jeu. Si j'aime autant mon travail, c'est en grande partie grâce à vous. Merci à mes collègues du département de chimie du Cégep André-Laurendeau de m'avoir soutenue dans cette démarche, notre culture départementale d'innovation est rafraîchissante! Un merci tout particulier à François et à Dominique de m'avoir laissé implanter mon projet dans leurs groupes. Merci aussi à Marc d'avoir pris le temps nécessaire au laboratoire pour finaliser les aspects techniques du projet.

Merci à ma famille, à mes amis ainsi qu'à tous ceux qui se sont informés périodiquement en me demandant : « Pis, ta maîtrise? ». Merci à ma sœur Catherine d'avoir pris le temps de faire la révision linguistique de ce rapport. Un merci tout spécial à ma précieuse amie Kim : les vendredis Larue, le travail dans notre espace *coworking* version pandémie (avec la *playlist* de Sylvain) et nos tomates virtuelles m'ont motivée quand j'avais une mauvaise attitude.

Et maintenant, ma collaboratrice la plus précieuse : Caroline. Ce rapport ne serait pas ce qu'il est sans ta solide expertise, tes suggestions de lectures et tes longues suggestions qui réduisent l'affichage des commentaires dans Word. Tu ne le sais peut-être pas, mais je suis encore plus fan de toi que je ne le suis de Patrice Potvin! Merci de m'inspirer, merci d'avoir cru en moi avant que je le fasse moi-même. Merci de m'aider à me dépasser, mais s'il te plait, attends avant de me convaincre que j'ai envie de faire un doctorat. Pour tout de suite, je vais aller mettre le champagne au frais pour qu'on puisse célébrer ça ensemble le moment venu.

INTRODUCTION

Le projet d'innovation pédagogique présenté dans ce texte est réalisé dans le cadre de la maîtrise en enseignement collégial (MEC). En plus de proposer une solution à un problème pédagogique, ce projet contribue au développement professionnel de l'enseignante-chercheuse responsable de son élaboration et de sa mise en œuvre.

Riche de près de dix années d'expérience en enseignement de la chimie au collégial, l'enseignante-chercheuse est à même de constater que les étudiants développent des conceptions alternatives dans les cours de chimie et les conservent même après les cours. Les premiers auteurs ayant proposé le terme « *alternative conception* » en 1978 sont Driver et Easley. Ils définissent les conceptions alternatives comme étant des représentations mentales personnelles qui divergent de la théorie scientifique que les étudiants développent à propos de certains concepts (R. Driver & Easley, 1978). Les erreurs commises par les étudiants résulteraient donc de ces conceptions alternatives et non pas d'une déficience cognitive (Gilbert & Watts, 1983).

Ce problème présente un intérêt particulier puisqu'il est propre aux disciplines scientifiques, mais surtout parce que c'est une préoccupation partagée par les membres du département de chimie du Cégep André-Laurendeau. Le projet d'innovation en lien avec ce problème permet une réflexion importante sur les pratiques enseignantes en chimie au regard de la littérature scientifique. Il s'agit également d'une occasion de développement professionnel puisque sa réalisation permettra l'acquisition des compétences nécessaires pour mener un projet.

Le projet d'innovation est réalisé à l'aide d'une démarche de *Scholarship of Teaching and Learning* (SoTL) (Bélisle, Lison, & Bédard, 2016) et son objectif général est de diminuer la présence des conceptions alternatives en lien avec la solubilité chez les étudiants du cours de *Chimie des solutions*. La structure des chapitres du présent travail reflète les étapes de cette démarche. Vous trouverez dans le chapitre 1 une analyse de la pratique enseignante en lien avec la problématique des conceptions alternatives. Le chapitre 2 quant à lui rend compte de l'appropriation des connaissances, telles que les conceptions alternatives et le laboratoire par enquête guidée, qui a été nécessaire pour ce projet. La conception de l'innovation ainsi que son implantation seront présentées, respectivement, dans les chapitres 3 et 4. Finalement, le chapitre 5 évaluera les retombées de l'innovation pédagogique sur la compréhension conceptuelle.

PREMIER CHAPITRE. ANALYSE DE LA PRATIQUE

La démarche SoTL débute généralement par une analyse réflexive de sa pratique enseignante. Ce chapitre présente cette réflexion concernant la présence de conceptions alternatives qui sont définies comme étant « des représentations internes, tacites [...] qui sont en désaccord avec la théorie scientifique acceptée » (Cormier, 2014, p. 5). Par exemple, croire que les molécules d'eau sont plus grosses à l'état solide qu'à l'état liquide est une conception alternative. Cette conception, observée chez plus de 40 % des étudiants de niveau collégial (Griffiths & Preston, 1992), est erronée au plan scientifique puisque les molécules d'eau sont de la même taille à tous les états physiques, c'est plutôt l'organisation des molécules qui change. Le problème des conceptions alternatives dans l'enseignement de la chimie est décortiqué dans les pages qui suivent. Leur origine et leurs impacts sur l'apprentissage sont décrits, puis la solution proposée pour résoudre ce problème est présentée.

1. ORIGINE DES CONCEPTIONS ALTERNATIVES

Les causes aux conceptions alternatives sont nombreuses telles que : l'expérience personnelle avec le monde, l'enseignement formel dispensé, les ouvrages de référence et l'interaction avec les pairs (Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994). Les conceptions alternatives peuvent exister dans toutes les disciplines, mais les recherches sur ces dernières portent surtout sur les disciplines scientifiques comme la biologie, la chimie et la physique (Gilbert & Watts, 1983; Mulford & Robinson, 2002; Potvin & Thouin, 2003; Vosniadou & Skopeliti, 2017). Ceci pourrait être expliqué par le fait que « dans le domaine scientifique, plus semble-t-il que dans d'autres, les

acquis n'ont aucun caractère définitif; les régressions sont au contraire la règle » (Johsua & Dupin, 2003, p.130). Autrement dit, les chercheurs se sont principalement intéressés au domaine scientifique pour l'étude des conceptions alternatives puisqu'il est plus difficile d'aller au-delà de ces conceptions dans l'apprentissage des sciences.

Les conceptions alternatives en chimie ont été répertoriées dans plusieurs cours allant du secondaire au postsecondaire (Cormier, 2014; Garnett, Garnett, & Hackling, 1995; Harrison & Treagust, 1996; Mulford & Robinson, 2002; Taber, Tsaparlis, & Nakiboğlu, 2012). Ce n'est donc pas un phénomène propre à un palier d'éducation ni à un cours de chimie en particulier. Contrairement à d'autres disciplines scientifiques comme la physique et la biologie, les conceptions alternatives en chimie proviennent essentiellement de l'enseignement puisque les concepts enseignés sont au niveau sous-microscopique (Taber, 2001a). Cela permet sans doute d'expliquer le peu de littérature concernant les conceptions alternatives en chimie chez les élèves du primaire étant donné que le monde sous-microscopique n'est abordé qu'à partir du secondaire. Plusieurs difficultés propres à l'enseignement de la chimie permettent d'expliquer que les conceptions alternatives dans cette discipline tirent leur origine principalement de l'enseignement. Ces difficultés sont présentées dans la section qui suit.

2. DIFFICULTÉS DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA CHIMIE

Le fait que les enseignants ne connaissent pas ces différentes difficultés est un des facteurs qui peut expliquer la présence des conceptions alternatives en chimie (Herron & Eubanks, 1996). En effet, il apparaît peu probable que des ajustements à l'enseignement soient apportés pour minimiser les conséquences de ces difficultés si elles ne sont pas connues. La connaissance des

conceptions alternatives possibles et les décisions pédagogiques concernant la séquence pédagogique sont les difficultés abordées dans cette section.

Les conceptions alternatives connues doivent être considérées dans l'enseignement de la chimie. En étant conscient des conceptions alternatives possibles, l'enseignant est en mesure de mieux repérer leur présence et peut aussi adapter son enseignement en proposant des activités pédagogiques susceptibles de les corriger. Par exemple, un enseignant qui sait qu'une personne peut croire que les molécules d'eau sont plus grosses à l'état solide peut aborder directement cette conception lors d'un cours sur les changements de phases. Accompagnée d'un support visuel montrant une représentation des molécules d'eau aux différents états physiques, la leçon peut expliciter en quoi cette conception est fausse et présenter une alternative crédible. Le département de chimie du Cégep André-Laurendeau est familier avec les conceptions alternatives recensées en *Chimie générale* grâce à la recherche menée par Cormier (2014). Or, les conceptions déjà répertoriées en *Chimie des solutions* sont peu ou pas connues des membres du département et cette méconnaissance est un obstacle à l'apprentissage.

Il est également important de se questionner jusqu'où enseigner un concept. Il est suggéré de ne pas enseigner un concept difficile s'il n'est pas nécessaire à la compréhension et d'éviter de simplifier excessivement un concept qui devra être réappris différemment plus tard. Herron et Eubanks (1996) expliquent l'impact d'une simplification excessive sur l'apprentissage des étudiants et des étudiantes ainsi :

This kind of unlearning is likely to conflict with the Principle of Least Cognitive Effort, and the student will hold tenaciously to the older concept as long as possible.

By the time the student realizes that the old model is inadequate, so much of the evidence for the new model has been presented that it is poorly learned. [Cette manière de « désapprendre » est susceptible d'entrer en conflit avec le principe du moindre effort cognitif et l'étudiant s'accrochera au vieux concept le plus longtemps possible. Au moment où l'étudiant réalisera que son vieux modèle est inadéquat, beaucoup de preuves concernant le nouveau modèle auront déjà été présentées et seront donc mal maîtrisées.] (Herron et Eubanks, 1996, p. 139)

3. IMPACTS DES CONCEPTIONS ALTERNATIVES SUR L'APPRENTISSAGE

Les enseignants doivent donc savoir comment enseigner un concept de manière à ce qu'il demeure simple sans toutefois le rendre erroné. Afin d'éviter qu'un concept soit réappris différemment plus tard, il est essentiel de réfléchir à la séquence d'apprentissage chez les étudiants. Il faut prendre des décisions sur le moment où un concept est introduit, mais aussi sur la trame conceptuelle. Cette dernière est définie par Astolfi et ses collaborateurs (2008), comme étant « un moyen pour organiser de façon cohérente les formulations conceptuelles à différents niveaux d'enseignements » (p.172). Il n'existe pas de trame conceptuelle pour chaque conception alternative, mais plutôt pour un concept donné. Afin d'éviter le développement de la conception alternative selon laquelle les molécules d'eau à l'état solide sont plus grosses qu'à l'état liquide il est important de s'assurer d'une bonne progression pédagogique lors de l'enseignement de la nature corpusculaire de la matière. Il serait important, entre autres, d'introduire les notions de modèles étant donné que le concept de molécule est non-observable (Harrison & Treagust, 1996). Idéalement, ceci devrait être vu avant d'aborder le fait que toutes les molécules sont de la même

gros pour que l'étudiant ait les outils nécessaires pour se faire une représentation interne adéquate. Impacts des conceptions alternatives sur l'apprentissage.

La présence des conceptions alternatives est un problème puisqu'elles ont des impacts négatifs sur l'apprentissage. Un concept introduit trop rapidement dans un cursus scolaire peut « favoriser la naissance d'idées fausses » si les notions préalables à sa compréhension sont mal maîtrisées et donc avoir des répercussions sur l'apprentissage de ce concept à court et long terme (Astolfi et al., 2008). Les étudiants qui développent des conceptions alternatives intègrent des connaissances conceptuelles inadéquates qui peuvent mener, dans certains contextes, à des réponses incorrectes, ou encore, plus insidieusement, à des réponses correctes obtenues par le biais d'un raisonnement qui lui est incorrect. Les conceptions alternatives peuvent également nuire à l'acquisition de nouvelles connaissances comme l'explique Cormier (2014):

Lorsque l'étudiant se verra enseigner une nouvelle notion entrant en conflit avec son cadre conceptuel alternatif, la nouvelle notion risque d'être soit mal interprétée en raison de ses connaissances antérieures déviantes, soit carrément évitée parce que trop contradictoire par rapport à ce qu'il « sait » déjà. L'apprentissage, dans un cas comme dans l'autre, sera en péril. (p.14)

C'est donc dire que les conceptions alternatives peuvent poser un problème pour l'évolution de la pensée des étudiants.

4. QUESTION DE RECHERCHE ET SOLUTION PROPOSÉE

Pour remédier au problème, les efforts du département de chimie du Cégep André-Laurendeau ont porté surtout sur le diagnostic des conceptions alternatives. Par exemple, les enseignants demandent régulièrement aux étudiants d'expliquer leur raisonnement afin de dépister les conceptions alternatives. Est-ce qu'une méthode pédagogique dument appuyée sur des résultats scientifiques pourrait être utilisée au Cégep André-Laurendeau pour amener les étudiants avec des conceptions alternatives à avoir des représentations internes en adéquation avec la théorie scientifique? C'est ce qui a engendré la question de recherche suivante :

Le laboratoire par enquête guidée peut-il être utilisé pour provoquer un changement conceptuel au regard des conceptions alternatives en lien avec les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée?

Ainsi, l'objectif général du projet est de diminuer la présence des conceptions alternatives en lien avec la solubilité chez les étudiants du cours de *Chimie des solutions*, un cours obligatoire du programme préuniversitaire en Sciences de la nature. Plus spécifiquement il faudra :

- 1) Identifier les principales difficultés conceptuelles de la population étudiante andré-laurendienne du cours de *Chimie des solutions* pour les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée.
- 2) Évaluer l'impact d'une séquence pédagogique comprenant un laboratoire par enquête guidée sur la compréhension de ces concepts.

4.1 Retombées

Ce projet d'innovation pédagogique pourrait contribuer à l'amélioration de l'enseignement en *Chimie des solutions*, mais aussi dans l'ensemble des cours de chimie par le biais d'une utilisation plus efficace du laboratoire par enquête guidée. Aussi, si cette méthode pédagogique permet un meilleur enseignement conceptuel, elle pourrait être utilisée plus largement dans l'enseignement des sciences dans le programme de *Sciences de la nature*. Avec la révision ministérielle de ce programme en cours (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, SD (version de consultation)), les retombées positives de la présente recherche pourraient être mises à contribution dans la mise en œuvre de la nouvelle version locale du programme.

DEUXIÈME CHAPITRE. APPROPRIATION DES CONNAISSANCES

L'appropriation des connaissances, deuxième étape de la démarche SoTL, est une étape préalable et essentielle dans le développement et l'implantation d'une innovation pédagogique. Dans ce chapitre sont présentés les concepts centraux liés au projet: les conceptions alternatives et le laboratoire par enquête guidée.

1. CONCEPTIONS ALTERNATIVES

Cette section définit d'abord ce qu'est une conception alternative, puis les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée seront présentés. Enfin, le changement conceptuel sera expliqué.

1.1 Définition

Le terme conception alternative est la traduction libre de l'expression anglaise alternative conception. Gilbert et Watts (1983) proposent également que le terme « conception » soit utilisé pour se concentrer sur l'aspect personnalisé de la théorisation et des hypothèses des individus (p.89), suggérant ainsi que les représentations de chaque individu sont uniques. Selon Cormier (2014) le terme conception fait référence aux « représentations internes des étudiants à propos d'un concept, généralement en sciences. Une conception est « alternative » quand elle constitue une connaissance propositionnelle ou conceptuelle différente de la définition scientifiquement acceptée d'un concept, ou incompatible avec celle-ci » (p. 35).

Donc, une conception alternative est une représentation interne qui s'éloigne de ce qui devrait être appris c'est-à-dire le consensus scientifique. Il est à noter que plusieurs autres termes sont utilisés pour désigner les conceptions alternatives tels que : *misconception* conception préexistante (Driver & Easley 1978), *intuitive theory* (Vosniadou, 2019), etc.

La présence de conception alternative peut se traduire par des raisonnements incorrects, par de mauvaises prédictions de phénomènes chimiques ou encore par une justification incorrecte à une bonne réponse (Cormier, 2014). C'est donc dire qu'un étudiant ou une étudiante avec de bons résultats à une évaluation pourrait avoir mal intégré certains concepts. Par exemple, il est possible qu'une personne identifie correctement la substance qui a le plus de chance d'être liquide à la température de la pièce dans une liste de substances, même si elle a comme conception alternative que les molécules d'eau à l'état solide sont plus grosses qu'à l'état liquide. On peut s'attendre à ce que son choix s'arrête sur la substance avec les plus grosses molécules, choix qu'elle justifie probablement avec ce qu'elle a retenu, c'est-à-dire que l'état solide est l'état avec les plus grosses molécules. C'est la bonne réponse, mais la justification appropriée est plutôt que la substance avec les plus grosses molécules a plus de chances d'être solide, car les liaisons intermoléculaires responsables de l'état solide y sont plus fortes. Dans ce cas, la présence de cette conception alternative amène la personne étudiante à faire des liens cognitifs inexacts puisqu'ils sont basés sur une prémisse qui est fausse. De plus, il est fort probable que l'apprentissage des notions subséquentes, comme l'effet des différents types de liaisons intermoléculaires sur la température de fusion de deux molécules ayant la même masse, pose problème puisque la personne n'a pas bien maîtrisé le concept même du changement de phase.

1.2 Changement conceptuel

Les conceptions alternatives doivent être régulées pour éviter de nuire à l'acquisition de nouvelles connaissances. Selon Potvin (2013), cette régulation est ce qu'on appelle le changement conceptuel. Cela signifie que lors de l'apprentissage d'un concept scientifique, les conceptions alternatives ne sont pas éliminées ou transformées tel qu'avancé par certains modèles (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982), mais qu'elles coexistent avec la théorie scientifique (Masson, Potvin, Riopel, & Foisy, 2014; Shtulman & Valcarcel, 2012; Vosniadou, 2019). C'est donc dire que, dans un contexte particulier, toutes les conceptions (mauvaises ou non) coexistent dans le cerveau d'un individu, mais qu'une d'entre elles a un statut supérieur aux autres (Potvin, 2013).

Pour un apprentissage conceptuel réussi, il ne faut donc pas avoir comme objectif de modifier les conceptions alternatives, mais plutôt de promouvoir l'autorégulation pour que la théorie scientifique supplante les conceptions alternatives présentes. Pour amener l'étudiant à réorganiser ses connaissances, Potvin (2013) propose un modèle en trois grandes étapes: 1) présenter la théorie scientifique en début de séquence d'enseignement pour rendre la conception souhaitée accessible, 2) développer l'inhibition à l'aide de « stop-sign » en montrant les limites des conceptions alternatives dans divers contextes puis 3) consolider la conception désirée pour éviter la résurgence des conceptions alternatives.

2. CONCEPTS DE SOLUTION SATURÉE, INSATURÉE ET SURSATURÉE

Avant toute chose, quelques notions de chimie doivent être abordées afin de bien comprendre l'innovation pédagogique. Les concepts de solution insaturée, saturée et sursaturée

font référence à la solubilité d'un soluté. Cette dernière représente la quantité maximale de soluté qui peut être dissout dans un solvant dans certaines conditions. Lorsque la concentration d'un soluté est égale à la solubilité on dit de cette solution qu'elle est saturée. Une solution insaturée a, quant à elle, une concentration inférieure à la solubilité alors qu'une solution sursaturée a une concentration supérieure à la solubilité.

2.1 Niveaux de représentation de la matière

Pour saisir les difficultés d'apprentissage des étudiants, il faut d'abord être au fait que la chimie est une science qui utilise différents niveaux de représentations : le sous-microscopique (dans ce cas-ci les molécules ou les particules de soluté), le macroscopique (les phénomènes observables comme l'apparition d'un solide au fond du bécher, aussi appelé précipité) et le symbolique (la concentration) (Taber, 2013; Talanquer, 2011). La *Figure 1* montre ces différents niveaux de représentation pour les solutions insaturée, saturée et sursaturée. Les béchers de gauche montrent la représentation sous-microscopique pour chaque type de solution, les points représentant les particules de soluté montrent le point de saturation. On remarque que la densité de points varie en fonction du type de solution. Les béchers de droite quant à eux montrent la représentation macroscopique des différents types de solutions. Finalement, l'utilisation du symbole de la concentration molaire volumique ($[]$) constitue le niveau de représentation symbolique.

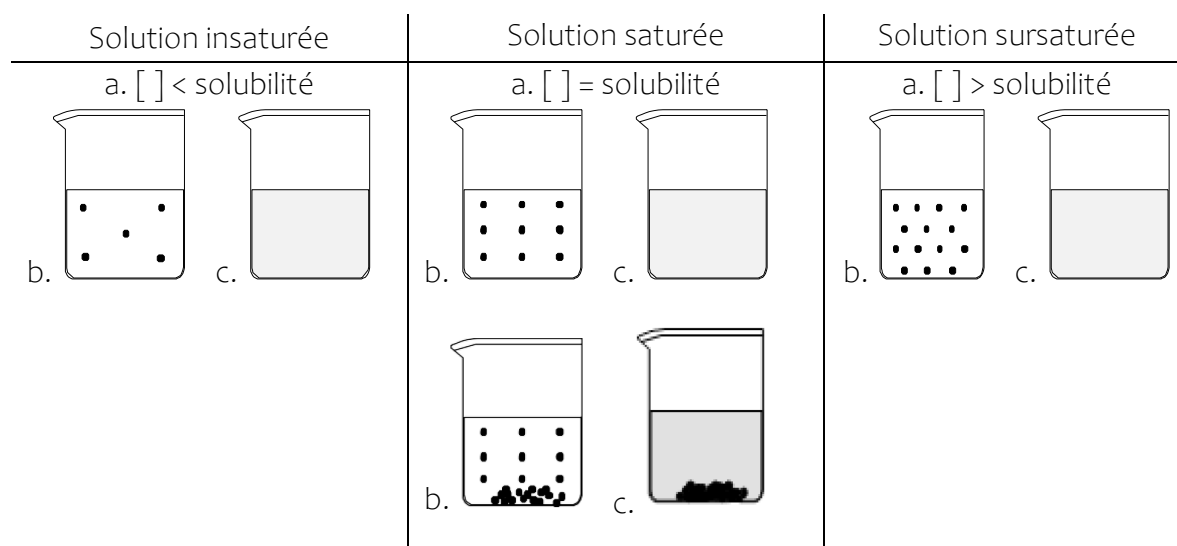


Figure 1. Trois niveaux de représentation pour les solutions insaturée, saturée et sursaturée (a. symbolique ; b. sous-microscopique; c. macroscopique).

Comme on peut le constater, la même représentation macroscopique peut être utilisée pour représenter les trois types de solutions. Il n'est donc pas étonnant que ces concepts puissent être confus pour les étudiants. La solution est dite saturée lorsque la concentration du soluté est à son maximum, c'est-à-dire lorsque la concentration est égale à la solubilité. On remarque que dans certains cas, la solution saturée présente un solide non dissout au fond du bécher appelé précipité. Il s'agit d'un phénomène fréquent qui découle du mode de préparation de ce type de solution. En effet, pour s'assurer d'atteindre la concentration maximale on ajoute habituellement une plus grande quantité de soluté que nécessaire. En agitant, on atteint la concentration maximale (donc la saturation) et le reste du soluté non dissout se dépose au fond du bécher. Même si un précipité est souvent présent dans les solutions saturées, une solution sans précipité pourrait aussi être saturée puisque par définition, une solution est saturée lorsque la concentration en solution est égale à la solubilité.

Selon Taber et al. (2012) comprendre les façons dont ces niveaux de représentation peuvent être liés est essentiel à la fois pour apprécier les structures chimiques et pour développer des schémas explicatifs des processus chimiques (p.2844). Autrement dit, la maîtrise des différents niveaux de représentation, mais surtout, être en mesure de passer facilement d'un niveau de représentation à un autre est crucial lors de l'apprentissage d'un nouveau concept.

2.2 Conceptions alternatives en lien avec le concept de solubilité

La littérature recense la présence de conceptions alternatives touchant les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée chez des étudiants de différentes régions du monde. Le fait que les apprenants ont tous la même conception, et ce peu importe le lieu d'enseignement, démontre la pertinence d'articuler le projet d'innovation pédagogique autour des concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée. Mulford et Robinson (2002) ont inventorié la présence de conception alternative touchant ces concepts chez des étudiants américains inscrits au cours de *Chimie Générale*, tandis que Pinarbasi et Canpolat (2003) les ont répertoriées dans une population d'étudiants inscrits au cours de *Chimie Générale I* d'une université turque. Les conclusions de ces deux études sont exposées dans les lignes qui suivent.

L'étude de Pinarbasi & Canpolat (2003) montre que la majorité des étudiants, soit environ 75 %, ne sont pas en mesure de distinguer une solution saturée, insaturée et sursaturée. Dans cette étude, le problème touche en particulier la solution sursaturée qui est associée, de manière erronée, à une solution contenant un soluté non dissout. Cette conception serait due au fait que certains étudiants croient que le solide non dissout est une composante de la solution. En effet, certains d'entre eux affirment que si le solide non dissout est enlevé, en filtrant par exemple, la solution

passer de sursaturée à saturée. En réalité, un solide au fond d'une solution à l'équilibre peut seulement signifier que cette solution est saturée qu'on la filtre ou non. Un enseignement plus explicite de la préparation d'une solution sursaturée en laboratoire pourrait aider à régler ce problème selon ces mêmes auteurs. D'autres études (Kelly, Krause, & Baker, 2010; Maass & Krause, 2014) utilisant le même questionnaire que celui utilisé dans l'étude de Pinarbasi et Canpolat (2003) relèvent les mêmes difficultés chez une population d'étudiants universitaires américains inscrits dans un cours d'introduction à la chimie. Fait intéressant, ils constatent un gain conceptuel significatif à la suite de l'utilisation de vidéo YouTube pour montrer visuellement des phénomènes liés aux concepts de solubilité comme la précipitation d'une solution sursaturée après l'ajout de soluté.

Dans l'élaboration du *Chemistry Concept Inventory* (CCI), un questionnaire permettant la mesure de la présence des conceptions alternatives en chimie, Mulford & Robinson (2002) arrivent au même constat. Près de 65 % des participants ne comprennent pas comment peut évoluer la concentration d'une solution saturée. En effet, nombre d'entre eux n'ont pas été en mesure de prédire que la concentration d'une solution saturée ne variera pas si une partie de l'eau s'évapore.

Les mêmes constats ont été faits par Adadan et Savasci (2012) dans son étude effectuée auprès d'étudiants turcs de niveau secondaire. Plus inquiétant encore, les mêmes conceptions alternatives ont été identifiées chez des étudiants universitaires turcs inscrits dans un programme d'enseignement de la chimie (Adadan, 2014). Les conceptions alternatives en lien avec le phénomène de solubilité semblent donc difficiles à surmonter puisqu'elles sont toujours présentes chez des futurs enseignants en chimie.

3. LABORATOIRE PAR ENQUÊTE GUIDÉE

Il existe différents types de laboratoires en didactique des sciences. Blanchard et ses collaborateurs (2010) en proposent une classification, présentée dans le *Tableau 1*, basée sur le degré de liberté laissé aux étudiants. Le laboratoire par enquête guidée se distingue donc du laboratoire traditionnel, que l'on appelle le laboratoire de vérification, par le degré de responsabilité de l'étudiant. Cheung (2011) définit d'ailleurs le laboratoire par enquête guidée comme un laboratoire pour lequel l'enseignant énonce la question de recherche et l'étudiant élabore sa propre méthode pour répondre à cette question, en plus de choisir comment les données seront traitées pour y arriver.

Tableau 1. Les différents types de laboratoires

	Question de recherche	Méthode expérimentale	Interprétation des résultats
Vérification guidée	Imposée par l'enseignant	Imposée par l'enseignant	Imposée par l'enseignant
Vérification ouverte	Imposée par l'enseignant	Imposée par l'enseignant	Au choix de l'étudiant
Enquête guidée	Imposée par l'enseignant	Au choix de l'étudiant	Au choix de l'étudiant
Enquête ouverte	Au choix de l'étudiant	Au choix de l'étudiant	Au choix de l'étudiant

Tableau adapté Blanchard et collaborateurs, 2010.

En bref, le laboratoire de vérification s'apparente davantage à une recette où l'étudiant doit appliquer une procédure alors que le laboratoire par enquête guidée est une approche plus

exploratoire qui nécessite que l'étudiant se questionne (Abraham, 2011). Les laboratoires de vérification et d'enquête ont donc des implications différentes pour les étudiants, leur responsabilité envers leur apprentissage est accrue avec le laboratoire par enquête guidée (Minner, Levy, & Century, 2010).

L'étude d'Abraham (2011) démontre d'ailleurs que certaines stratégies d'enseignement en laboratoire sont plus efficaces pour certaines catégories d'apprentissages. Le laboratoire par enquête guidée mènerait, selon lui, à une meilleure compréhension des concepts. Quoiqu'utile pour l'enseignement de techniques de laboratoire, le laboratoire de vérification ne permettrait aucun gain conceptuel. Le même constat est fait par Minner et ses collaboratrices (2010) : le laboratoire par enquête guidée permet un meilleur apprentissage conceptuel. Ces deux études consolident le choix du laboratoire par enquête guidée pour l'innovation pédagogique puisqu'un meilleur apprentissage des concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée permettrait sans doute de répondre au problème des conceptions alternatives associé à ces notions. L'enquête ouverte quant à elle n'aurait pas été la meilleure option dans ce contexte. Les étudiants novices sont plus susceptibles d'errer parce que la guidance de l'enseignant est plus restreinte pour ce type de laboratoire. L'enquête ouverte ne permettrait pas de retirer les bienfaits associés au laboratoire par enquête pour ce type d'étudiants (Aditomo & Klieme, 2020).

3.1 Guidance

L'encadrement fourni par l'enseignant est crucial pour le succès du laboratoire par enquête guidée (Lazonder & Harmsen, 2016). Selon Potvin, Hasni et Sy (2017), il est important que

l'enseignant adapte son niveau de guidance en fonction des connaissances et du niveau d'autonomie des étudiants puisque :

too much guidance cancels out some of the best virtues (increased autonomy, problem solving-skills, scientific competence, learning by error, conceptualization, etc.). On the other hand, too little guidance can hinder learning because it overlooks fundamental and well documented cognitive constraints, like cognitive load. [Trop d'encadrement annule certains bienfaits (autonomie accrue, compétence en résolution de problèmes, compétence scientifique, apprentissage par l'erreur, conceptualisation, etc.). D'un autre côté, trop peu d'encadrement peut nuire à l'apprentissage puisque certaines contraintes cognitives, comme la charge cognitive, sont négligées.] (p.282)

Il est donc important pour l'enseignant de ne pas utiliser une guidance trop directe qui limiterait notamment l'apprentissage par erreur ni une guidance trop ouverte qui pourrait nuire aux étudiants plus faibles et moins autonomes.

TROISIÈME CHAPITRE. CONCEPTION DE L'INNOVATION

Rappelons que l'objectif de ce projet est de provoquer un changement conceptuel en *Chimie des solutions* (202-NYB-05) en utilisant le laboratoire par enquête guidée. Ce chapitre contient d'abord une présentation détaillée de l'innovation en abordant le contexte d'implantation, en présentant les personnes impliquées, en plus d'une explication des différentes étapes du déroulement qui inclut une présentation du matériel pédagogique nécessaire à la réalisation de la séquence pédagogique, ainsi qu'une présentation des outils de collecte de données et des critères d'évaluation. Autrement dit, il présente la méthodologie associée au projet d'innovation, soit la troisième étape de la démarche SoTL.

1. CONTEXTE D'IMPLANTATION

L'implantation du projet a lieu à la session d'hiver 2020 entre les semaines 4 et 7 dans tous les groupes du cours de *Chimie des solutions* (202-NYB-05) au Cégep André-Laurendeau. Ce cours est le deuxième cours obligatoire de chimie dans le programme de *Sciences de la nature* et se donne à la deuxième session. Il a pour visée d'approfondir des concepts vus au secondaire par l'atteinte de la compétence 00UM « Analyser les propriétés des solutions et les réactions en solution ». Ce cours a été choisi d'une part parce qu'il est obligatoire et que tous les étudiants et les étudiantes du programme doivent le suivre, mais aussi parce que l'enseignante-chercheuse a une bonne expertise de ce cours après l'avoir enseigné à plus d'une dizaine de reprises.

2. PERSONNES IMPLIQUÉES

Tous les étudiants inscrits au cours de chimie des solutions à l'hiver 2020 seront sollicités pour participer à la recherche. Environ 130 participants sont donc pressentis pour cette recherche. Ceci est possible grâce à la collaboration de tous les enseignants du cours, soit François Arseneault-Hubert et Dominique Bourret. Ces derniers acceptent de suivre la séquence pédagogique proposée dans ce projet et de dégager du temps de classe pour la collecte de données. Ils participeront également à la révision du texte de laboratoire pour s'assurer de la clarté des consignes. L'aide technique de Marc Amyot, le technicien de laboratoire, sera également sollicitée dans l'élaboration du laboratoire par enquête guidée.

Une autre précieuse collaboratrice au projet est Caroline Cormier (Cormier, 2014), enseignante au département de chimie. Elle se charge du recrutement ainsi que d'une partie de la collecte de données. Plus important encore, elle agit à titre de mentor auprès de l'enseignante-chercheuse principale grâce à son expertise en recherche. Son aide tout au long du projet d'innovation se décline de plusieurs manières : suggestions de lecture, proposition de pistes de solutions lors de la rencontre d'écueils et partage de son amour du logiciel SPSS en sont quelques exemples.

3. ÉTAPES DE DÉROULEMENT

Cette section présente l'échéancier de la recherche. La première section présentera la séquence pédagogique alors que la deuxième exposera les différents moments de la collecte de données.

3.1 Séquence pédagogique

Comme décrite à la *Figure 2*, on retrouve une portion de classe inversée ainsi qu'un laboratoire par enquête guidée dans la séquence de l'innovation pédagogique. Vous trouverez dans la section qui suit le matériel pédagogique nécessaire à l'implantation du projet ainsi que les raisons qui ont motivé ces choix.

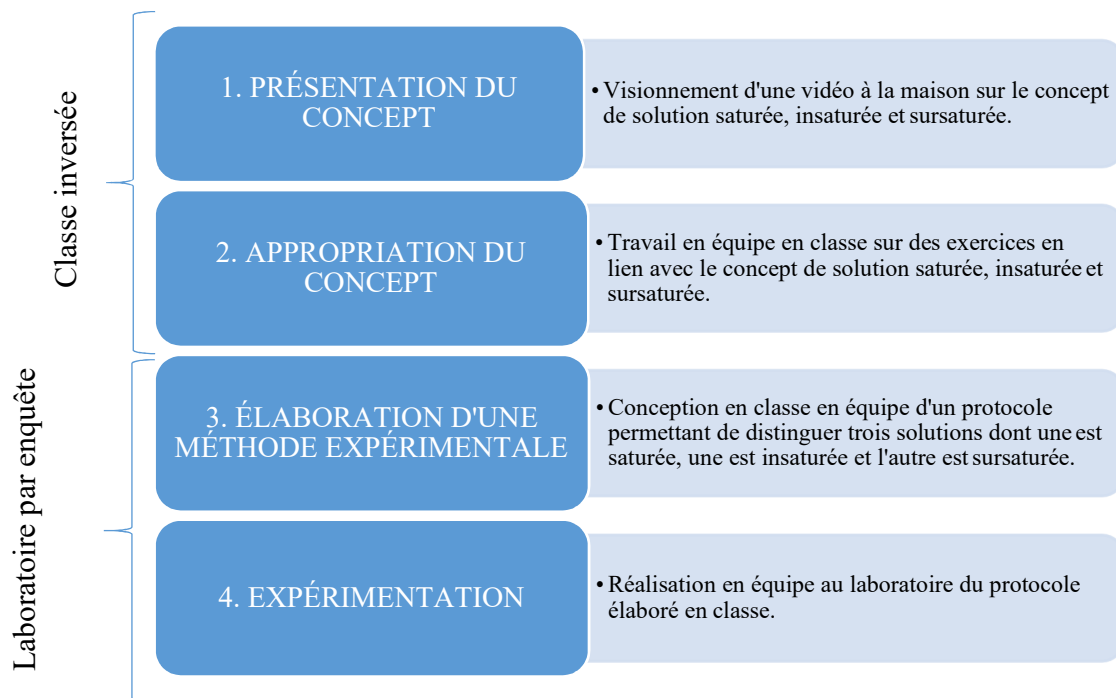


Figure 2. Séquence pédagogique du projet d'innovation pédagogique

3.1.1 Classe inversée

Dans un premier temps, la présentation des concepts de solution insaturée, saturée et sursaturée se fait en utilisant la classe inversée. Les étudiants sont invités à visionner à la maison

une capsule vidéo¹ expliquant le concept de solution insaturée, saturée et sursaturée. La *Figure 3* présente le scénarimage de cette capsule vidéo, la première scène (à gauche) montre ce qui distingue les solutions saturée, insaturée et sursaturée, alors que la deuxième scène (à droite) montre comment réaliser expérimentalement une solution sursaturée comme recommandé par Pinabarsi et Canpolat (2003). La vidéo a été choisie pour la classe inversée, car elle permet de s'assurer que tous les participants auront la même présentation du contenu puisqu'ils auront tous visionné la même vidéo et ce peu importe leur enseignant pour le cours. Il n'y a pas de mesures en place pour s'assurer que les étudiants ont bien visionné la capsule vidéo avant d'arriver en classe puisqu'une approche non coercitive est privilégiée depuis le début de la session pour la classe inversée. Toutefois, les individus qui n'ont pas encore regardé la vidéo seront invité à le faire en classe avant d'amorcer le travail en équipe.

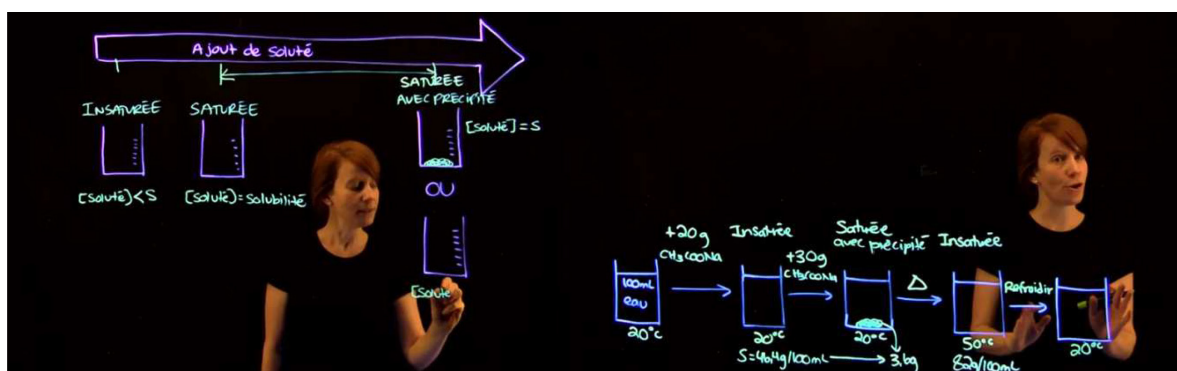


Figure 3. Scénarimage de la capsule vidéo sur *Lightboard*.

¹ La vidéo est disponible sur la plateforme YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=5-u0Gs7G-dU>)

Plusieurs des recommandations de Awad, Brouillette, Cormier, & Turcotte (2017) concernant les capsules vidéos éducatives ont été suivies pour la réalisation de la vidéo. Elle est de courte durée pour conserver l'attention des étudiants et le ton de la conversation a été privilégié pour favoriser la motivation. Aussi, la vidéo a été tournée en utilisant un studio *Lightboard* qui est un tableau transparent lumineux. Selon Birdwell & Peshkin (2015), l'utilisation de ce type de tableau donne un enseignement plus naturel parce qu'il permet au présentateur d'expliquer face à la caméra sans devoir se retourner. Aussi, comme l'arrière-plan est complètement noir et les écritures apparaissent en surbrillance, l'auditeur peut se concentrer sur les notions expliquées puisque plusieurs éléments de distraction sont ainsi éliminés.

Comme la vidéo demeure une activité passive, un devoir en lien avec la vidéo sera ensuite réalisé en équipe en classe pour consolider les apprentissages. Le devoir est présenté à l'*Annexe A* et il inclut des exercices conceptuels ainsi que des problèmes numériques.

3.1.2 Laboratoire par enquête guidée

Dans un deuxième temps, le laboratoire d'enquête guidée est utilisé. Ce type de laboratoire a été choisi puisqu'il s'agit d'une forme d'apprentissage actif qui permet à l'apprenant de construire des concepts à partir d'expériences et d'interactions verbales (Schmid & Bogner, 2015). Lors du laboratoire par enquête guidée, les étudiants auront comme objectif de concevoir une méthode expérimentale pour distinguer trois solutions dont une est saturée, une est insaturée et l'autre est sursaturée. Une période de classe sera consacrée à l'élaboration de la méthode et ensuite deux périodes au laboratoire seront utilisées pour la mise en œuvre de cette méthode. Les consignes

transmises aux étudiants pour les guider dans la conception de leur méthode expérimentale sont présentées dans l'*Annexe B*.

Plusieurs rencontres auront lieu pendant la session avec les différents enseignants du cours afin d'assurer le plus d'uniformité possible dans le déploiement de la séquence pédagogique dans les différents groupes. Lors de ces rencontres, les modalités du travail en classe et l'encadrement des étudiants seront abordés. Une grande importance sera accordée à comment répondre (ou ne pas répondre) aux différentes questions des étudiants pendant la portion de laboratoire par enquête guidée et les directives transmises aux enseignants, présentées à l'*Annexe C*, s'appuient sur les recommandations de Blanchard (2010) et Kawalkar & Vijapurkar (2013).

3.2 Collecte de données

La recherche est menée à l'aide de deux outils de collecte de données : le questionnaire conceptuel ainsi que l'entrevue individuelle tels qu'illustrés à la *Figure 4*.

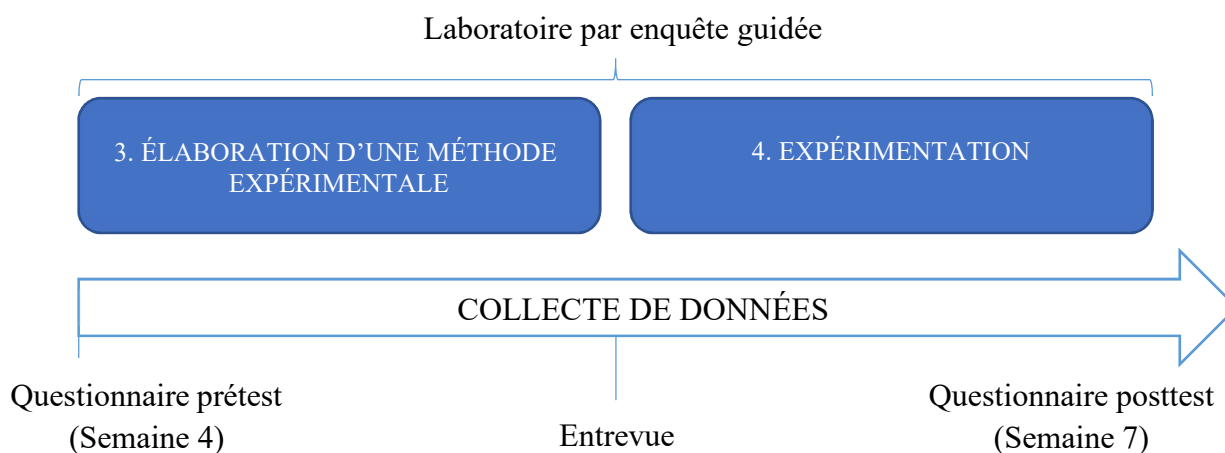


Figure 4. Échéancier de la collecte de données.

Cette collecte de données a reçu l’approbation du comité d’éthique à la recherche de l’École de Technologie Supérieure (ÉTS) et l’*Annexe D* présente le certificat éthique obtenu. Les différents outils sont décrits dans les sections qui suivent.

3.2.1 Questionnaire conceptuel

La compréhension des concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée sera évaluée à l’aide de deux questionnaires à paliers multiples. Chaque questionnaire est composé de trois items, qui portent sur différents niveaux de représentations (macroscopique, sous-microscopique et symbolique). Un exemple d’item du prétest est présenté à la *Figure 5* alors que l’intégralité des questionnaires, ainsi que le formulaire d’information et de consentement, se trouvent à l’*Annexe E*.

1. La solubilité d’un sel est de 35g par 100g d’eau. On dissout 37g de ce sel dans 100g d’eau et on obtient une solution limpide et sans précipité.
 - i. La solution obtenue est :
 - a. Insaturée
 - b. Saturée
 - c. Sursaturée

À quel point êtes-vous certain(e) de votre réponse en i.?

 - a. Absolument certain(e)
 - b. Certain(e)
 - c. Incertain(e)
 - d. J’ai répondu au hasard
 - ii. Quelle est la raison de votre réponse en 1. i.

À quel point êtes-vous certain(e) de votre raison fournie en ii.?

 - a. Absolument certain(e)
 - b. Certain(e)
 - c. Incertain(e)
 - d. J’ai répondu au hasard

Figure 5. Exemple d’item du questionnaire conceptuel.

Les items du questionnaire sont adaptés de Mulford & Robinson (2002) et de Pinarbasi & Canpolat (2003). Le premier palier de chaque item est un choix de réponses alors que le deuxième palier est une réponse ouverte ou un choix de réponses détaillant le raisonnement ayant mené à la réponse du premier palier. Dans l'exemple, identifier si la solution est saturée, insaturée ou sursaturée est le premier palier de la question alors que le deuxième palier est une question ouverte ou l'étudiant ou l'étudiante doit détailler la raison de son choix au premier palier. Le troisième palier quant à lui, permet d'évaluer le degré de confiance de l'étudiant par rapport à ses réponses des deux premiers paliers.

Les items à paliers multiples ont été choisis pour le questionnaire puisqu'ils permettent de recueillir rapidement une grande quantité de données (Hensler, 2008), mais surtout parce qu'ils sont largement utilisés pour recenser les conceptions alternatives (Treagust & Chandrasegaran, 2007). Cormier (2014) justifie l'utilisation de ce type d'item pour le diagnostic des conceptions alternatives ainsi :

Ce type d'items permet de mettre en lumière les conceptions alternatives parce qu'ils exigent que les étudiants exposent leurs représentations et modèles explicatifs, qui sont souvent en inadéquation avec la théorie scientifique. Ainsi, les étudiants qui ont une bonne réponse au premier palier peuvent quand même avoir une conception alternative qui peut être repérée au regard de la justification qu'ils invoquent au deuxième palier. (p.81)

Le degré de confiance de l'étudiant par rapport à sa réponse ou à son raisonnement permet quant à lui de distinguer les conceptions alternatives du manque de connaissances (McClary &

Bretz, 2012 ; Potgieter et al., 2010). Le degré de confiance sera donc analysé pour les items pour lesquels nous soupçonnons la présence de conceptions alternatives.

Les données des questionnaires seront saisies dans Excel et pourront par la suite être importées dans le logiciel IBM SPSS pour effectuer l'analyse statistique.

3.2.2 *Entrevue individuelle*

Environ une dizaine d'étudiants participeront à une entrevue individuelle après la conception de la méthode expérimentale en équipe en classe, mais avant sa réalisation en laboratoire. L'entrevue individuelle a pour but de mieux comprendre le raisonnement qui les a menés à répondre incorrectement au prétest. D'une durée d'au maximum 30 minutes, elle se déroulera en dehors des heures de classe et sera menée à l'aide du guide d'entrevue présenté à l'*Annexe F*. Cette dernière sera enregistrée, puis transcrite.

Il y aura deux volets distincts dans cet échange avec l'étudiant : le prétest ainsi que la conception de la méthode expérimentale. Dans le premier volet, tous les items du prétest seront passés en revue et différentes questions de compréhensions seront posées aux participants pour qu'ils explicitent leur raisonnement à voix haute. Dans le deuxième volet, il sera demandé à l'étudiant ce qu'il prévoit utiliser comme méthode au laboratoire pour distinguer les trois solutions et de justifier ses choix.

L'entrevue individuelle comporte plusieurs avantages : elle permet de bien évaluer la compréhension des étudiants et elle est particulièrement adaptée dans le contexte des conceptions alternatives (Cormier, 2014; Roecker, 2007; Taber, 1995). Son utilisation pourrait non seulement

permettre de repérer les conceptions alternatives, mais aussi à enrichir l'interprétation des résultats obtenus à l'aide du questionnaire (Karsenti & Savoie-Zajc, 2018). En effet, la combinaison des données qualitatives obtenues par le biais des entrevues pourrait enrichir les données quantitatives obtenues avec les questionnaires.

Les participants qui seront invités à participer aux entrevues devront avoir accepté d'être contactés pour une entrevue en plus d'avoir répondu incorrectement au premier palier d'au moins un item du prétest. Comme cette portion de la collecte de données sera utile pour mieux comprendre les raisonnements qui mènent à une mauvaise réponse, ceux qui auront répondu correctement seront exclus. Aussi, afin d'avoir une sélection représentative de la population étudiante, la sélection des volontaires se fera de manière à avoir une proportion égale de filles et de garçons.

4. CRITÈRES D'ÉVALUATION

Rappelons que l'objectif général du projet est de diminuer la présence des conceptions alternatives en lien avec la solubilité chez les étudiants du cours de *Chimie des solutions*. Revoyons maintenant les objectifs spécifiques qui en découlent et comment leur atteinte sera évaluée :

- 1) Identifier les principales difficultés conceptuelles de la population étudiante andré-laurendienne du cours de *Chimie des solutions* pour les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée.

- a. Le premier critère d'évaluation pour cet objectif est d'identifier le ou les type(s) de représentation (symbolique, sous-microscopique ou

macroscopique) les moins bien maîtrisés par les étudiants à l'aide du pourcentage de réussite des items du prétest. Un pourcentage de réussite inférieur à 60 % pour un type de représentation sera jugé comme insatisfaisant.

- b. Le deuxième critère pour cet objectif est de comprendre les principaux raisonnements erronés pour le ou les type(s) de représentation pour lequel ou lesquels la réussite est jugée insatisfaisante à l'aide du premier critère. L'analyse qualitative des réponses aux entrevues et des justifications dans les questionnaires sera utilisée pour mettre en lumière le cheminement effectué par les étudiants qui obtiennent de mauvaises réponses.

2) Évaluer l'impact d'une séquence pédagogique comprenant un laboratoire par enquête guidée sur la compréhension de ces concepts.

- a. Le premier critère d'évaluation pour cet objectif est de constater une amélioration de la performance des étudiants du prétest au posttest. Cette amélioration sera évaluée selon le gain de Hake (1998). Il s'agit d'un gain normalisé qui permet d'évaluer l'efficacité d'une mesure d'enseignement d'un concept dans une population étudiante avec diverses connaissances initiales. Son calcul prend en considération les caractéristiques individuelles des participants qui influencent la performance au prétest. Ainsi il est possible d'obtenir uniquement le gain attribuable au design expérimental.

- b. Le deuxième critère d'évaluation est l'identification des lacunes du design expérimental. Plus spécifiquement, cerner les éléments qui pourraient être améliorés afin d'augmenter le nombre de changements conceptuels lors d'une prochaine itération de la séquence pédagogique.

QUATRIÈME CHAPITRE. IMPLANTATION DE L'INNOVATION

Ce chapitre présente la quatrième étape de la démarche SoTL soit la mise en œuvre de l'innovation pédagogique qui est, dans ce cas-ci, l'implantation du laboratoire par enquête guidée en *Chimie des solutions* (202-NYB-05) pour provoquer un changement conceptuel. Vous y trouverez les modifications apportées à la conception de l'innovation présentée au chapitre 3, une description détaillée de l'échantillon aux différentes étapes de la collecte de données ainsi qu'une présentation des principaux résultats.

1. MODIFICATIONS

Lors de la mise en œuvre, certaines modifications ont été apportées au projet d'innovation pédagogique. Les écarts aux directives pédagogiques lors de l'implantation par les enseignants collaborant au projet sont d'abord listés, puis les ajustements nécessaires en raison du contexte mondial de pandémie de *Coronavirus Disease 2019* (COVID-19) sont présentés.

1.1 Écarts aux directives pédagogiques par les enseignants collaborant au projet

Les enseignants qui ont collaboré au projet n'ont pas entièrement respecté certaines directives pédagogiques qui leur ont été transmises. Rappelons que la séquence pédagogique proposée prévoyait environ une période en classe pour que les étudiants travaillent à l'élaboration de la méthode expérimentale en équipe. Or, par manque de temps, un enseignant a décidé de ne pas allouer ce temps de classe pour le travail préparatoire au laboratoire par enquête guidée. Les

étudiants ont plutôt été invités à travailler sur le protocole à la maison. La séquence pédagogique a donc été légèrement modifiée pour un des groupes.

De plus, selon Blanchard et ses collaborateurs (2010), il faut laisser les étudiants prendre des décisions en leur fournissant un guidage qui permet de les orienter, sans leur donner directement la réponse. Toutefois, ces recommandations n'ont pas toujours été respectées puisque, lorsque certains étudiants sont allés poser des questions au sujet de leur protocole entre les cours, leur enseignante leur a indiqué directement que leur stratégie expérimentale était erronée. Il aurait été préférable, pour respecter les recommandations de Blanchard et ses collaborateurs, de les relancer avec des questions ouvertes pour guider leur réflexion. Les impacts de ces deux modifications, soit l'absence de travail d'équipe dans un cas et la guidance trop directe dans un autre cas, seront discutés dans le prochain chapitre lors de l'évaluation de l'innovation.

1.2 Contexte COVID-19

En raison de la pandémie mondiale de COVID-19, le gouvernement du Québec a déclaré l'état d'urgence sanitaire pour l'ensemble du territoire le 13 mars 2020 (Gouvernement du Québec, 2020). Les mesures mises en place par la direction de la santé publique pour protéger la population incluaient la suspension des cours du 15 au 27 mars 2020. Puis, l'enseignement a repris graduellement, en ligne uniquement, à partir du 30 mars 2020. Cette situation exceptionnelle a nécessité un ajustement au mode de collecte de données. Certains étudiants ont répondu au posttest papier avant la suspension des cours, alors que les autres ont dû répondre au posttest en ligne. Il est également important de mentionner que ce sont les étudiants de l'enseignante qui mène le projet d'innovation pédagogique qui ont répondu à la version papier du posttest.

Le questionnaire papier a été distribué à 59 étudiants en classe alors qu'un lien Microsoft Forms a été envoyé à l'aide de la messagerie interne d'Omnivox (Mio) à 82 étudiants. Un rappel a été effectué une semaine après l'envoi du lien dans le but d'augmenter le taux de participation. Dans la prochaine section, les données du posttest seront analysées pour déterminer si les conclusions qui en seront tirées pourront être généralisées à l'ensemble de la population étudiée. Pour le moment, il est bon de retenir que seuls les étudiants de l'enseignante-chercheuse ont eu le protocole intégral et que ce sont également les seuls étudiants qui ont répondu au posttest papier.

2. ÉCHANTILLON

Au total, 107 étudiants ont participé à la collecte de données sur les 141 inscrits au cours de *Chimie des solutions* (202-NYB-05) à l'hiver 2020. Avec un taux de participation de 76 %, il sera possible de tracer un portrait conceptuel représentatif de la population étudiante andré-laurendienne pour ce cours à cette session. L'échantillon aux différentes phases de la collecte de données est brièvement décrit au *Tableau 2*.

Tableau 2. Description de l'échantillon expérimental pour les différentes phases de la collecte de données

Phase de la collecte de données	F	G	Total	MGS moyenne	Écart- type
Questionnaire prétest (papier)	59	48	107	83,90	6,16
Questionnaire posttest (papier ou électronique)	37	27	64	84,89	5,86
Entrevues (en présence)	6	2	8	87,43	4,32

Le prétest a été distribué à la semaine 4 après la séquence de classe inversée, mais avant la séquence de laboratoire par enquête guidée. Le posttest a été réalisé à la semaine 7 à la fin de la séquence pédagogique pour la version papier et pendant le battement entre la levée et la reprise des cours pour la version électronique. Finalement, les entrevues ont eu lieu aux semaines 4 et 5 alors que les étudiants avaient répondu au prétest et travaillé en classe sur la conception du protocole du laboratoire par enquête guidée, mais n'avaient pas encore effectué les manipulations au laboratoire.

On constate qu'il y a plus de filles que de garçons pour chacune des phases de la collecte de données. Ceci n'est pas surprenant puisque cette répartition garçons/filles correspond à ce qu'on voit normalement en première année dans le programme de Sciences de la nature pour l'ensemble du réseau (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, 2016). On remarque également la baisse de participation au posttest avec une diminution de 40 % de répondants en raison du contexte de pandémie de COVID-19 et de la collecte de données électronique. En effet, 72 % des données du posttest ont été recueillies par le biais de la version papier alors que 28 % des données ont été recueillies avec la version électronique.

2.1 Posttest

Il était attendu que les mêmes étudiants répondent aux deux versions du questionnaire afin d'évaluer leur progression de la compréhension des concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée. Les données ont été contrôlées pour la MGS à l'aide d'un test T pour échantillons indépendants, ainsi que pour le sexe et la réussite au premier palier de l'item Q3 par le biais d'un test de Khi-deux. Les MGS sont légèrement supérieures dans l'échantillonnage au posttest et les

filles y sont légèrement surreprésentées, sans toutefois que ces différences soient statistiquement significatives ($p > 0,05$). Les conclusions tirées du posttest seront donc généralisables à l'ensemble de la population.

En revanche, il ne sera pas possible de conclure sur les effets de la guidance et de l'enseignement pendant la séquence pédagogique sur le changement conceptuel puisque l'échantillon du posttest est composé à 72,3 % d'étudiants d'une même enseignante. Comme il s'agit d'une différence significative selon le test de Khi-carré ($X^2 = 14,450$, $N = 175$, $p < 0,001$), il ne sera pas possible de distinguer l'effet de l'innovation pédagogique de « l'effet prof ».

2.2 Entrevues

Au total, 8 entrevues d'une douzaine de minutes ont été réalisées à l'extérieur des périodes prévues pour le cours. Le *Tableau 3* présente brièvement les participants de cette portion de la collecte de données.

Tableau 3. Description de l'échantillon expérimental pour les entrevues ($N = 8$)

Participant	Genre	MGS	Item(s) incorrect(s) prétest
1	F	87,35	Q3
2	F	93,64	Q1 et Q3
4	M	85,54	Q3
5	F	84,85	Q3
7	M	92,64	Q3
8	F	88,21	Q3
9	F	87,17	Q1
40	F	80,07	Q3

Les entrevues devaient être réalisées avant les manipulations au laboratoire ce qui entraînait un délai court entre la passation du questionnaire et le recrutement des participants pour cette phase de la collecte de données. La saisie de données des questionnaires de ceux qui ont accepté d'être contactés pour les entrevues a été faite en premier, ce qui explique pourquoi leurs numéros de participants sont successifs.

Un test T pour échantillons indépendant montre qu'il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) pour les MGS entre l'échantillon expérimental pour les entrevues et pour les questionnaires. Le même constat est fait pour le sexe des participants dans les deux échantillons comme démontré par un test de Khi-carré négatif ($p > 0,05$).

3. RÉSULTATS

Vous trouverez ici une présentation des résultats pour chacune des phases de la collecte de données, mais d'abord un rappel de la structure des questionnaires s'impose. Chaque questionnaire comprenait 3 items à paliers multiples. Le premier palier incluait une question à choix multiple ainsi que le degré de confiance de l'étudiant pour sa réponse alors que le deuxième palier était constitué d'une justification pour la réponse du premier palier ainsi que le degré de confiance de l'étudiant en sa justification. Les réponses au premier palier des questionnaires sont d'abord présentées puis viennent ensuite les données qualitatives recueillies lors des entrevues ainsi que les justifications données au deuxième palier des questionnaires et des entrevues.

3.1 Réponses au premier palier

Pour évaluer le score au premier palier de chaque item, on attribue un score de 1 à la bonne réponse alors qu'un score de 0 est attribué aux autres choix de réponses. Le score maximal pour le premier palier de chaque item est donc d'un point alors que le score maximal total pour le test pour les réponses au premier palier est de 3 points, puisque le questionnaire comporte 3 items.

3.1.1 Prétest

Voyons dans un premier temps le portrait conceptuel des étudiants après la séquence de classe inversée, mais avant la séquence de laboratoire par enquête guidée. Le *Tableau 4* présente les résultats du premier palier pour le prétest.

Tableau 4. Résultats au premier palier de chaque item du prétest (N = 107)

Item	Niveau de représentation évalué	Score moyen
Q1	Symbolique	0,77
Q2	Sous-microscopique et macroscopique	0,75
Q3	Macroscopique	0,39
Total		1,91

Le score moyen maximum par item est de 1,00 alors que le score moyen total maximum est de 3,00.

La réussite des items Q1 et Q2 est assez élevée avec un score moyen d'environ 75 % chacun. On ne peut en dire autant sur l'item Q3 qui a le score le plus faible avec plus de la moitié des étudiants qui ont répondu de façon erronée. Étant donné que la réussite de cet item demeure insatisfaisante, même après un enseignement conceptuel, l'effet du laboratoire par enquête guidée sur la compréhension conceptuelle sera évalué à partir de cet item en particulier. La comparaison

de la réussite du premier palier de l'item Q3 du prétest avec celle du même item au posttest permettra d'évaluer le gain conceptuel attribuable à l'utilisation du laboratoire par enquête guidée. Voyons maintenant plus en détail les caractéristiques des étudiants qui ont mal répondu à cet item.

3.1.1.1 Résultats au prétest pour l'item Q3 portant sur la représentation macroscopique

Pour exclure la possibilité que le faible score à l'item Q3 puisse être expliqué par des caractéristiques de l'échantillon, le résultat au premier palier de cet item a été analysé en fonction de plusieurs variables : l'enseignant qui donne le cours, le sexe de l'étudiant et sa MGS. Le test de Khi-deux montre l'absence de relation ($p > 0,05$) entre le sexe et le score de même qu'entre l'enseignant qui donne le cours et le score. Finalement, un test T pour échantillons indépendants montre qu'il n'y a pas de différence ($p > 0,05$) entre les MGS des deux sous-groupes soit ceux qui ont la bonne réponse à cette question et ceux qui ne l'ont pas. En résumé, le score au premier palier de l'item Q3 est indépendant du sexe de l'étudiant, de sa MGS et de son enseignant.

Le *Tableau 5* montre le degré de confiance des participants spécifiquement pour l'item Q3. Ces données permettront d'évaluer si la mauvaise réponse à cet item indique la présence d'une conception alternative ou s'il s'agit simplement d'un manque de connaissances.

Tableau 5. Degré de confiance au prétest pour la réponse de l'item Q3 (N = 100)

	Bonne réponse	Mauvaise réponse
J'ai répondu au hasard	0	0
Incertain(e)	16	26
Certain(e)	16	17
Absolument certain(e)	11	14

On remarque que plusieurs étudiants sont incertains, même lorsqu'ils ont la bonne réponse et que la distribution du niveau de confiance est semblable peu importe si la réponse est bonne ou mauvaise. La confiance des étudiants en leur réponse sera intéressante à considérer lors de l'analyse des résultats du posttest à la section suivante pour voir si les étudiants avec une confiance plus faible progressent différemment de ceux avec une confiance plus élevée. La répartition du degré de confiance pour la réponse au premier palier de l'item Q3 en fonction du sexe a également été réalisée et elle est présentée à la *Figure 6*.

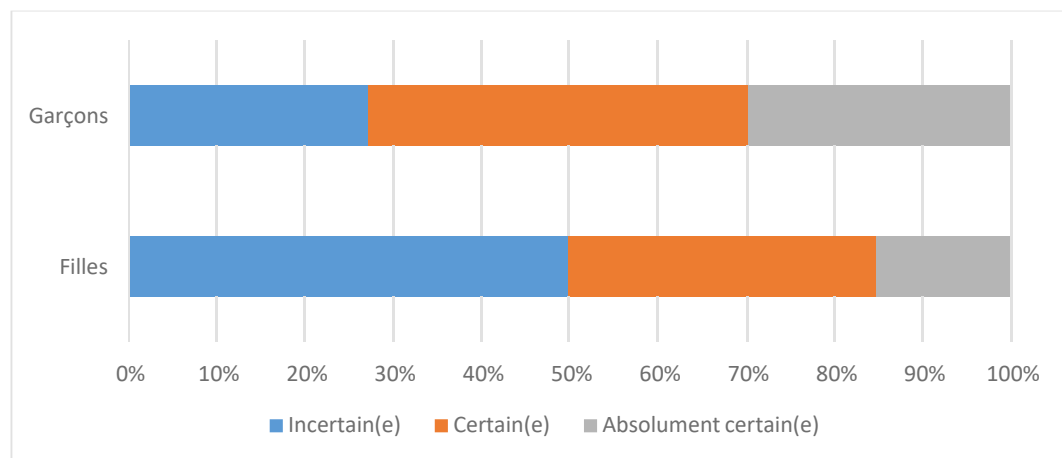


Figure 6. Confiance au premier palier de l'item Q3 du prétest pour les filles (N=59) et les garçons (N=47).

On constate que les garçons sont plus confiants que les filles en leur réponse. Un test U de Mann-Whitney confirme qu'il s'agit d'une différence statistiquement significative ($U = 1051$, $N = 107$, $p < 0,05$). La taille d'effet est évaluée à l'aide de la statistique r , calculée à l'aide de la formule ci-dessous :

$$r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$$

Comme $r=0,237$, il s'agit d'une taille d'effet entre petite et moyenne pour la différence entre ces deux groupes (Cohen, 1988). Une petite différence est associée à une valeur de r près de 0,10 alors qu'elle oscille plutôt près de 0,30 pour une différence moyenne et 0,50 pour une grande différence.

La confiance différente entre les garçons et les filles pourrait mener à des effets différents du laboratoire par enquête guidée pour chacun des sexes. C'est ce que nous verrons avec l'analyse des résultats posttest dans la section qui suit.

3.1.2 *Posttest*

La comparaison entre les résultats du prétest et du posttest permettra d'évaluer l'effet du laboratoire par enquête guidée sur la compréhension des concepts de solution insaturée, saturée et sursaturée. Le gain conceptuel est calculé à l'aide du gain de Hake (Hake, 1998) :

$$\text{Gain de Hake} = \text{Gain moyen} / \text{Gain maximal}$$

Le gain moyen correspond à la différence de score entre le pré et le posttest (Score posttest – score prétest), alors que le gain maximal est le gain total possible pour un individu ($3 - \text{score prétest}$). Le *Tableau 6* présente l'ensemble des résultats qui permettent la comparaison entre le prétest et le posttest.

Tableau 6. Progression de la réussite et de la confiance des étudiants pour le prétest (N=107) et le posttest (N=64)

Item	Niveau de représentation évalué	Score moyen prétest	Score moyen posttest	Gain de Hake
Q1	Symbolique	0,77	0,85	0,35
Q2	Sous-microscopique et macroscopique	0,75	0,66	-0,36
Q3	Macroscopique	0,39	0,51	0,20
Total		1,91	2,02	0,10

Le score moyen maximum par item est de 1,00 alors que le score moyen total maximum est de 3,00

Il est intéressant de constater qu'il y a un gain moyen pour le score de l'item Q1 et un gain faible pour l'item Q3. Un gain normalisé supérieur à 0,7 est interprété comme étant élevé alors qu'il est jugé faible s'il est inférieur à 0,3. On parle d'un gain moyen si sa valeur normalisée se situe entre 0,3 et 0,7 (Hake, 1998). De façon tout à fait surprenante, on observe un gain négatif pour l'item Q2. Contrairement aux items Q1 et Q3, les étudiants ont mieux répondu à l'item Q2 lors du prétest qu'au posttest. Toutefois, une piste d'interprétation basée sur la façon dont le questionnaire a été conçu sera proposée au prochain chapitre pour expliquer cette observation surprenante. Le gain total est positif, mais faible étant donné l'impact du gain négatif de l'item Q2. Pour l'instant, attardons-nous à la progression de la réussite pour l'item Q3.

3.1.2.1 Résultats au posttest pour l'item Q3 portant sur la représentation macroscopique

Rappelons que l'item Q3 était l'item pour lequel le score était le plus faible au prétest et que c'est pour cette raison que cet item permet d'évaluer le gain conceptuel découlant de

l'utilisation du laboratoire par enquête guidée. Le *Tableau 7* montre la progression de la compréhension de cet item.

Tableau 7. Progression de la réussite de l'item Q3 (N=64)

Sexe	Bonne réponse prétest (N=25)		Mauvaise réponse prétest (N=39)	
	<i>Mauvaise réponse posttest</i>	<i>Bonne réponse posttest</i>	<i>Mauvaise réponse posttest</i>	<i>Bonne réponse posttest</i>
F	4	8	20	5
G	3	10	6	8

La dernière colonne du *Tableau 7* montre que bon nombre de participants ont amélioré leur compréhension en passant de la mauvaise réponse au prétest à la bonne réponse au posttest. Un test T pour échantillons indépendants montre que cette progression à l'item Q3 n'est pas corrélée avec la MGS, ni avec le score du prétest, ni avec la confiance des réponses données au prétest. Cependant, un test de Khi-deux révèle que la progression mauvaise réponse → bonne réponse est significativement plus élevée chez les garçons que chez les filles ($X^2 = 5,571$, $N = 39$, $p < 0,05$). Autrement dit, les garçons ont vécu davantage de changements conceptuels que les filles dans cette étude. La statistique phi (ϕ) de 0,35 montre qu'il s'agit ici d'une taille d'effet entre moyenne et grande (Cohen, 1988). L'effet est de petite taille lorsque ϕ est autour de 0,10, de taille moyenne autour de 0,30 et de grande taille autour de 0,50. On calcule la statistique phi de la façon suivante :

$$cp = \frac{\overline{X^2}}{N}$$

Observation étonnante, un certain nombre d'étudiants qui avaient la bonne réponse au prétest répondent incorrectement au posttest. Afin de mieux comprendre ce phénomène, la confiance au premier palier de l'item Q3 au prétest a été analysée. Ces résultats sont présentés à la *Figure 7*.

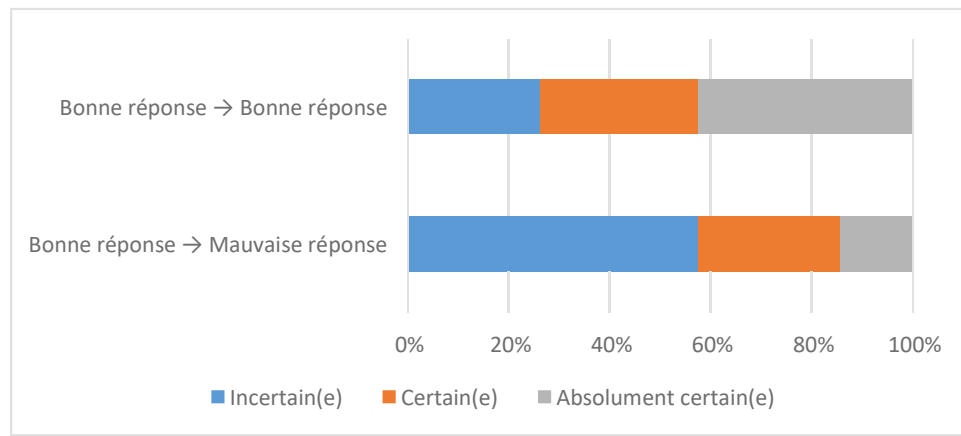


Figure 7. Confiance au premier palier de l'item Q3 du prétest pour les sous-groupes *Bonne réponse → Bonne réponse* (N=19) et *Bonne réponse → Mauvaise réponse* (N=7).

Il semble que les étudiants du sous-groupe *Bonne réponse → Mauvaise réponse* avaient une confiance en leur réponse plus faible au prétest que le sous-groupe *Bonne réponse → Bonne réponse*, mais selon le test U de Mann-Whitney il ne s'agit pas d'une différence statistiquement significative ($p > 0,05$).

Les effets du laboratoire par enquête guidée sur la compréhension conceptuelle des étudiants seront évalués à partir de ces résultats au prochain chapitre. Pour le moment, voyons les résultats issus des données qualitatives.

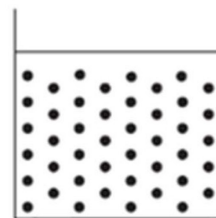
3.2 Justification au deuxième palier

Les justifications ouvertes au deuxième palier sont utiles pour comprendre les difficultés conceptuelles liées à chaque item du questionnaire. L'analyse des justifications à l'item Q1 ne révèle pas de problème de compréhension majeur, cet item ne sera donc pas abordé dans cette section. Voyons toutefois les principaux éléments qui ressortent lors de l'analyse pour les items Q2 et Q3. Rappelons que les entrevues individuelles ont été réalisées après la passation du prétest. Des questions d'approfondissement ont alors été posées aux différents participants. Lorsque pertinentes, les réponses des étudiants aux entrevues seront présentées en complément des justifications des items Q2 et Q3.

3.2.1 Justifications pour l'item Q2 portant sur les représentations sous-microscopique et macroscopique

Pour cette question, présentée à la *Figure 8*, il était demandé aux étudiants de déterminer le degré de saturation du deuxième bécher en sachant que le premier représente une solution saturée. Comme la densité de points, qui représentent le patron de saturation, est la même pour les deux béchers, ils contiennent tous les deux une solution saturée. La bonne réponse est donc b).

2. La solution ci-contre est une solution saturée, les points représentent des molécules de sucre dissout.



- i. La solution dans le bécher ci-dessous est :



- a) Insaturée
- b) Saturée
- c) Sursaturée

Figure 8. Premier palier de l'item Q2 au prétest.

Curieusement, très peu d'étudiants ont répondu en tenant compte du patron de saturation et de la quantité de sucre dissout. La quasi-totalité des étudiants basent leur raisonnement sur la présence du précipité. Certains l'utilisent judicieusement et obtiennent la bonne réponse.

Il y a un précipité donc la solution ne peut pas être insaturée. On a aucune information sur les autres conditions qui mèneraient à une sursaturation d'ailleurs celle-ci ne forme pas de précipité. (Sujet 71)

Il s'agit d'une solution saturée avec précipité (j'ai répondu par élimination) pas insaturée ni sursaturée puisqu'il y a un précipité (Sujet 8)

La solution est saturée, car sa concentration est égale à sa solubilité. Le précipité ne fait pas partie de la solution. (Sujet 110)

Ils comprennent bien que le précipité ne fait pas partie de la solution et que le soluté qui s'y trouve n'est pas pris en compte dans le calcul de la concentration. Les entrevues le confirment,

lorsque les participants sont questionnés sur le type de solution obtenu après la filtration de la solution saturée avec précipité ils répondent sans hésiter que ce sera une solution saturée. Voici quelques extraits des réponses des étudiants à cette question :

Je dirais saturée parce la concentration a pas changée (sic). Le précipité ne fait pas partie de la concentration. (Sujet 40)

Je pense qu'elle serait toujours saturée. [...] Parce qu'étant donné que c'est en solution, la solution c'est aqueux donc ça passe dans les trous du filtre. (Sujet 7)

On note tout de même qu'une partie des répondants n'interprètent pas correctement la présence du précipité et croient que la solution est sursaturée. Voici quelques extraits de justifications de ces étudiants :

La solution est sursaturée parce qu'il y a un précipité qui s'est formé au fond du bécher. (Sujet 46)

La formation d'un précipité indique que la quantité de sucre ajouté est supérieure à la quantité possible, puisqu'il n'y a plus de place pour ces molécules. (Sujet 79)

Car il y a un précipité, donc il y a plus de soluté que la normale, le précipité est en surplus. (Sujet 49)

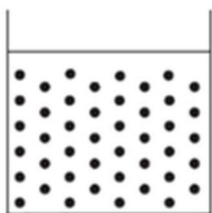
On voit bien que pour ces personnes, la présence d'un précipité signifie que la solution est sursaturée. Les deux dernières justifications donnent un aperçu plus détaillé de leur difficulté : ces étudiants semblent tout simplement confondre les solutions saturée et sursaturée. En effet, les justifications données par les sujets 79 et 49 sont la définition même d'une solution saturée.

En résumé, les étudiants utilisent majoritairement le précipité associé à la représentation macroscopique du concept de solubilité et non le motif de saturation associé à la représentation sous-microscopique pour répondre à l’item Q2 du prétest. Cet item n’a donc pas permis d’évaluer la compréhension de la représentation sous-microscopique comme prévu. C’est pourquoi les deux béchers ont été intervertis à l’item Q2 du posttest comme montré à la *Figure 9*. Notons que la réponse attendue est toujours b) Saturée.

2. La solution ci-contre est une solution saturée, les points représentent des molécules de sucre dissout.



- i. La solution dans le bécher ci-dessous est :



- a) Insaturée
- b) Saturée
- c) Sursaturée

Figure 9. Premier palier de l’item Q2 au posttest.

On peut voir dans le *Tableau 8* présenté à la page suivante que cette permutation de béchers a permis d’obtenir des justifications plus variées que celles recueillies lors du prétest.

Tableau 8. Réponses et justifications d'étudiants au deuxième palier de l'item Q2

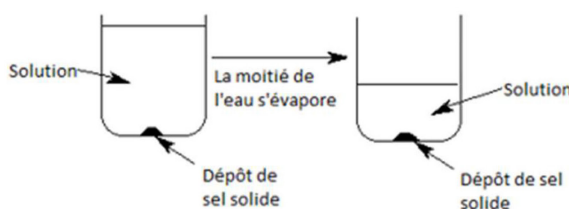
Réponse au premier palier	Exemples de justification
a) Insaturée	<p>Parce qu'il n'y a que des molécules dissoutes. Il n'y a pas de signe de saturation. (Sujet 71)</p> <p>Il n'y a pas de précipité ni un plus grand nombre de particules dans la solution. (Sujet 37)</p> <p>Il n'y a pas de précipité, cela veut dire que c'est une solution insaturée (Sujet 85)</p>
b) Saturée	<p>La quantité de points semble identique dans les deux, la seule différence est que dans la première il y a un précipité et dans la deuxième non. (Sujet 2)</p> <p>La concentration en point de la solution du bécher semble être la même que celle du témoin qui est saturée. (Sujet 107)</p>
c) Sursaturée	<p>Dans la solution de départ, il y a un précipité et la solution est saturée. Plus tard, il n'y a plus de dépôt de sel, la solution est donc sursaturée. (Sujet 109)</p>

Plusieurs étudiants, comme les sujets 2, 37 et 107, font maintenant référence au patron de saturation. En ce qui concerne les mauvaises justifications, ceux qui ont répondu que la solution était insaturée semblent croire que, pour être saturée, une solution doit absolument avoir un précipité. Nous discuterons de cette difficulté dans le prochain chapitre. Le sujet 109 quant à lui semble avoir tout simplement mal compris l'énoncé de la question et croit que le deuxième bécher a été obtenu à partir du premier. Voyons maintenant les difficultés relevées lors de l'analyse des justifications de l'item Q3.

3.2.2 Justifications pour l'item Q3 portant sur la représentation macroscopique

Pour cette question, présentée à la *Figure 10*, il était demandé aux étudiants de prédire la concentration d'une solution lorsque le solvant s'évaporerait de moitié. Le précipité dans le premier bécher indique que la solution est saturée et donc que la concentration en solution est égale à la solubilité. Lorsque le volume de solution diminue, la solution demeure saturée puisqu'en absence de changement de température la solubilité ne varie pas. La concentration après l'évaporation du solvant reste la même, donc la réponse attendue est c).

3. Du sel est ajouté à un certain volume d'eau et le mélange est brassé jusqu'à ce que le sel ne se dissolve plus, puis le bécher est laissé sur un comptoir pendant un certain temps sans que l'eau ne s'évapore. Le sel qui ne se dissout pas se dépose au fond du bécher. Qu'arrivera-t-il à la concentration en sel dans la solution si la moitié de l'eau s'évapore? (On assume que la température est constante).²



- i. La concentration :
- a) Augmente
 - b) Diminue
 - c) Reste la même

Figure 10. Premier palier de l'item Q3 au prétest et au posttest.

Le *Tableau 9* présente des exemples de mauvaises justifications avancées par les étudiants à cette question. Ces justifications seront utiles pour atteindre le premier objectif de ce projet soit : comprendre le raisonnement qui mène les étudiants à faire de mauvaises prédictions concernant la solubilité.

Tableau 9. Réponses et justifications d'étudiants au deuxième palier de l'item Q3

Réponse au premier palier	Exemples de justification
a) Augmente	<p>La quantité de sel est la même, mais pour un volume de solution plus petit, ce qui veut dire que la concentration en sel est plus grande. (Sujet 81)</p> <p>Ça me semble logique, mais je n'arrive pas à l'expliquer présentement. (Sujet 35)</p> <p>La concentration augmente, car le dépôt de sel reste le même, mais le volume de la solution diminue, donc la concentration en sel deviendra plus concentrée. (Sujet 72)</p>
c) Reste la même	Il va seulement avoir plus de sel qui va s'évaporer. (Sujet 62)

On remarque plusieurs mauvais raisonnements qui témoignent de plusieurs difficultés conceptuelles différentes. Certains, comme le sujet 62 ont la bonne réponse, mais n'ont pas le bon raisonnement pour y arriver puisqu'ils croient, à tort, que le soluté s'évapore avec le solvant. Ce n'est pas le cas puisque le soluté est non volatil et demeure dans le bécher. Ce raisonnement peu fréquent est utilisé par moins de 10 % des étudiants qui ont la bonne réponse. D'autres, environ 7 % des répondants, n'arrivent pas à expliquer le phénomène comme le sujet 35.

Quelques étudiants, incluant le sujet 72, se basent sur l'apparence du précipité dans les deux béchers pour répondre à la question. En entrevue, le participant 4 l'explique encore plus clairement :

Ici je vois que le dépôt de sel il a pas d'augmentation notable. Je peux pas vraiment dire que le dépôt de sel est plus gros il y a peut-être quelques pixels ici, mais il est pas plus gros [...]. Donc je peux me dire que le sel qui était en solution il est encore dans la solution. (Sujet 4)

Il est vrai que le dessin ne montre pas un précipité plus gros, mais un expert aurait su que la solubilité ne peut être dépassée étant donné qu'il n'y a pas de variation de température dans ce contexte. Finalement, il est intéressant de mentionner que 81 % des étudiants qui ont répondu a) (la concentration augmente) à cette question ont un raisonnement similaire ou équivalent à celui du sujet 81, soit qu'on retrouve une plus grande quantité de soluté dans un plus petit volume étant donnée l'évaporation du solvant. Plusieurs des participants aux entrevues ont une explication semblable lorsqu'on leur demande pourquoi, selon eux, la concentration augmente :

Ben on a une solution, on a le solvant qui s'évapore et le soluté qui reste. Donc forcément si le solvant s'évapore, mais que le soluté reste il va y avoir une plus grande concentration. Une plus grande quantité de soluté dans une plus petite quantité de solvant donc la concentration augmente. (Sujet 7)

Je voyais la formule de concentration dans ma tête, pis là, je me suis dit, si le volume diminue ben la concentration va être plus grande si le nombre de particules reste le même. (Sujet 8)

Les étudiants qui font référence à la formule mathématique de la concentration pour expliquer l'augmentation de la concentration n'abordent généralement pas l'aspect macroscopique

de la solution et la présence du précipité dans le bécher. Voici ce que le participant 7 a répondu en entrevues lorsqu'on le questionne à ce sujet :

Interviewer: Le fait qu'on te parle du fait qu'il y a un dépôt solide ici et là, est-ce que c'était pertinent pour ...

Étudiant : la concentration? Non. Parce que c'est pas inclus dans la concentration. Étant donné qu'il y a un dépôt ça ne fait pas partie de la concentration.

I : Le fait qu'on l'indique c'était juste un élément de distraction?

É : Je pense que oui

La participante 40 croyait également que le précipité était un élément de distraction, voici toutefois ce qu'elle répond lorsqu'on lui demande si les solutions sont saturées, insaturées ou sursaturées dans chacun des béchers de l'item Q3 :

Interviewer: Est-ce que tu serais capable de dire si la première solution est insaturée, saturée ou sursaturée?

Étudiante : Hum, elle est saturée.

I : Pourquoi?

É : Parce qu'il y a un dépôt. Donc elle a atteint sa solubilité.

I : Et la deuxième solution?

É : Hmm, c'est la même chose.

I : Elle serait saturée aussi?

É : Oui

I: Il y aurait deux solutions saturées avec deux concentrations différentes?

É : Oui.

Cet extrait est particulièrement évocateur puisqu'il démontre clairement une conception alternative. Comme vu précédemment, à une même température, la concentration d'une solution saturée est égale à sa solubilité. Il n'est donc pas possible qu'une telle solution ait deux concentrations différentes dans le cas présent. Les différentes difficultés conceptuelles relevées à partir des justifications des étudiants seront discutées plus amplement dans le chapitre qui suit.

CINQUIÈME CHAPITRE. ÉVALUATION DE L'INNOVATION

Ce chapitre comprend les traces de la cinquième étape de la démarche SoTL : le projet d'innovation pédagogique est évalué à partir des résultats présentés au chapitre précédent. L'identification des principales difficultés de la population andré-laurendienne pour les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée est le premier critère d'évaluation. Ces difficultés ainsi que les principaux raisonnements erronés seront d'abord discutés. Les impacts de l'utilisation du laboratoire par enquête guidée sur l'apprentissage de ces concepts seront ensuite évalués. Ce deuxième critère d'évaluation permettra de statuer si la performance au posttest des étudiants s'est améliorée et si ce n'est pas le cas, les lacunes du design expérimental seront identifiées. Ce chapitre s'achèvera finalement avec un retour sur les objectifs du projet d'innovation.

1. PRINCIPALES DIFFICULTÉS CONCEPTUELLES RELEVÉES

Selon les modèles de Taber (2013) et de Talanquer (2011) évoqués précédemment, il y a trois niveaux de représentation en chimie : la représentation macroscopique, la représentation sous-microscopique et la représentation symbolique. Les résultats de cette étude montrent que pour les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée, seule la représentation symbolique est bien maîtrisée par l'ensemble des étudiants. La réussite moyenne de 77 % au prétest pour l'item Q1 en témoigne. Ce sont plutôt les items Q2 et Q3 qui sont problématiques. Les difficultés conceptuelles relevées pour ces items sont abordées dans les sections qui suivent.

1.1 Difficultés conceptuelles relevées pour l’item Q2 portant sur les représentations sous-microscopique et macroscopique

Comme mentionné précédemment, à la suite de l’analyse des justifications au deuxième palier pour cet item au prétest, il a été constaté que les étudiants évoquaient peu ou pas le patron de saturation associé à la représentation sous-microscopique pour répondre à cet item. Le score de cet item au prétest ne permet donc pas d’évaluer la compréhension de la représentation sous-microscopique. C’est plutôt le taux de réussite de 66 % au posttest qui permet de mesurer la compréhension des étudiants pour ce mode de représentation. Ce pourcentage est supérieur aux 17 % à 61 % observés dans des études qui utilisent des items similaires (Adadan & Savasci, 2012; Maass & Krause, 2014; Pinarbasi & Canpolat, 2003). Pour le concept de saturation, il semble donc que les étudiants maîtrisent mieux la représentation sous-microscopique que ce que l’on rapporte dans la littérature. On constate tout de même plusieurs erreurs de raisonnement dans les justifications fournies au deuxième palier. La principale conception alternative mise en lumière par cet item, ainsi que les raisonnements qui y sont associés, seront maintenant abordés.

1.1.1 Conception alternative 1 : le précipité rend la solution saturée

Une première conception alternative découle du choix d’évacuer la représentation sous-microscopique (le patron de saturation) du raisonnement pour baser l’explication uniquement sur la représentation macroscopique (le précipité) qui est mieux maîtrisée. Cela n’a rien d’étonnant considérant les nombreuses difficultés d’apprentissage liées à la visualisation de la nature sous-microscopique de la matière (Çalyk, Ayas, & Ebenezer, 2005; Garnett et al., 1995). Ne pas considérer tous les aspects d’un problème pour répondre plus rapidement à une question tout en

fournissant un minimum d'effort cognitif est ce qu'on appelle un raisonnement par heuristique (Talanquer, 2006). Plus précisément, il s'agit de l'heuristique de disponibilité dans ce cas, puisque les étudiants ont tendance à expliquer le phénomène avec des concepts plus accessibles avec lesquels ils sont plus familiers (Talanquer, 2006). Ce type de raisonnement erroné est bien connu et engendre souvent des conceptions alternatives (Cormier, 2014; Talanquer, 2006). Dans ce cas-ci, le raisonnement par heuristique entraîne la conception alternative selon laquelle le précipité rend la solution saturée. Cette conception alternative est une conception de la catégorie de connexion selon le modèle de Cormier (2014) puisqu'elle témoigne d'une mauvaise compréhension du lien de causalité entre la saturation et le précipité. C'est l'ajout de soluté dans une solution saturée qui cause l'apparition d'un précipité et non l'inverse. Une justification comme : « *il n'y a pas de précipité, cela veut dire que c'est une solution insaturée* » témoigne de cette mauvaise connexion des concepts. Une autre manifestation de cette conception alternative est d'être incapable d'identifier une solution saturée en l'absence d'un précipité.

1.2 Difficultés conceptuelles relevées pour l'item Q3 portant sur la représentation macroscopique

Le taux de succès moyen au prétest pour cet item est de 39 %. Même s'il est faible, il s'approche du 32 % de réussite observé dans l'étude de laquelle il est tiré (Mulford & Robinson, 2002). Ainsi, 61 % des étudiants éprouveraient des difficultés conceptuelles, qui sont peut-être des conceptions alternatives, sur ce sujet. La proportion des étudiants qui ont des conceptions alternatives sur cet item peut être évaluée avec le degré de confiance des étudiants en leur réponse. Comme les conceptions alternatives sont généralement associées à un degré de confiance élevée

(McClary & Bretz, 2012; Potgieter et al., 2010), il est probable que ceux qui étaient incertains de leur réponse n'ont pas réussi cet item par manque de connaissances et non pas parce qu'ils ont une représentation interne inadéquate. Dans le même sens, la typologie de Taber (2001b) distingue l'obstacle de carence des obstacles ontologiques et pédagogiques qui sont associés aux conceptions alternatives. Si l'on considère uniquement les étudiants qui sont certains et absolument certains de leur réponse, la prévalence de la conception alternative serait plutôt de 30 %, soit la moitié moins. Pour faciliter l'analyse, tous les participants avec une réponse incorrecte seront réputés comme ayant une conception alternative, peu importe s'ils ont un degré de confiance élevé ou faible en leur réponse.

La réussite de l'item Q3 ne dépend pas de la MGS ce qui signifie qu'il est aussi bien réussi par les étudiants avec un rendement scolaire élevé que par ceux avec un rendement scolaire faible. Un étudiant qui a de bonnes notes est donc aussi susceptible qu'un étudiant plus faible de présenter cette conception alternative. Aussi, l'enseignant qui donne le cours ne semble pas avoir d'incidence sur la prévalence de la conception alternative dans ce cas-ci. Ceci n'est pas surprenant considérant que la même vidéo a été utilisée pour présenter ces concepts à tous les étudiants. On peut également postuler que les interventions faites en classes par les enseignants étaient soit équivalentes entre elles ou encore elles n'ont pas eu d'incidence sur la présence de la conception alternative.

On ne note pas de différence significative entre les filles et les garçons pour cet item au prétest. Il s'agit d'un résultat surprenant étant donné que Cormier (2014) relevait qu'au collégial les garçons avaient moins de conceptions alternatives que les filles en chimie. Une hypothèse qui

pourrait expliquer cette différence est qu'ici le prétest a été réalisé après une séquence de classe inversée. Lors d'une recherche menée auprès d'étudiants universitaires à Harvard, Lorenzo, Crouch et Mazur (2006) ont noté que des méthodes pédagogiques interactives permettaient de surmonter une disparité importante de performance entre les deux sexes à un test conceptuel en physique. Une rétroaction immédiate et individuelle permettrait un meilleur apprentissage conceptuel, en particulier pour les filles (Gok, 2014). La rétroaction fournie en classe pendant la séquence de classe inversée pourrait ici être à l'origine de l'absence de différence de compréhension conceptuelle entre les garçons et les filles.

Fait intrigant, les garçons se distinguent des filles quant à leur confiance en leurs réponses. En effet, on constate que les garçons ont une confiance significativement plus élevée que les filles en leurs réponses à la fois pour l'item Q3, mais aussi pour l'ensemble des réponses du prétest. Rappelons qu'il s'agit d'une différence modérée avec une taille d'effet entre petite et moyenne. Cet aspect sera intéressant à prendre en compte dans la section suivante pour voir si le laboratoire par enquête guidée a des effets différents pour les garçons et les filles. Pour le moment, voyons les deux principales conceptions alternatives associées à cet item.

1.2.1 Conception alternative 2 : une solution saturée peut avoir deux concentrations différentes

Rappelons que pour cet item, la quasi-totalité des répondants avait recours uniquement à la formule mathématique de la concentration dans leur justification. Ces derniers obtiennent une mauvaise réponse puisqu'ils ont omis des aspects importants dans leur raisonnement : la solution est saturée ce qui veut dire que la concentration ne peut augmenter puisque la solubilité a été atteinte. Ce type de raisonnement par heuristique, nommé fragmentation ou réduction, est à

l'origine de plusieurs conceptions alternatives (Cormier, 2014; Taber, 2001b; Talanquer, 2006). Pourtant, on sait que les étudiants comprennent bien qu'une solution présentant un précipité est une solution saturée, ils y font d'ailleurs référence dans leur justification à l'item Q2 du prétest au lieu de recourir à la représentation sous-microscopique. Quoiqu'ils maîtrisent bien le concept impliqué dans l'item Q3, les étudiants choisissent de considérer uniquement l'aspect mathématique du problème qu'ils maîtrisent sans doute encore mieux. C'est probablement ce qui les pousse à considérer une seule variable du problème et à le simplifier excessivement, engendrant du même coup la conception alternative : une solution saturée peut avoir deux concentrations différentes à une même température.

1.2.2 Conception alternative 3 : le soluté se combine avec le solvant une fois dissout

Cette conception alternative serait présente chez les participants qui disent que la concentration va rester la même parce que « *plus de sel va s'évaporer* ». Bien que peu de répondants aient une justification de ce type, il semble qu'il y ait des difficultés de compréhension sur la nature même du concept de solution. En effet, ce type de justification semble sous-entendre le raisonnement suivant : lorsque du sel est dissout dans l'eau, le sel est combiné à l'eau pour faire une nouvelle substance appelée eau salée. Selon cette logique, plus l'eau s'évapore, plus le sel s'évapore également, considérant ainsi que ces deux substances (l'eau et le sel) se combinent pour n'en faire qu'une seule (l'eau salée). Cette conception alternative sur le processus de dissolution est d'ailleurs bien documentée (Ebenezer & Erickson, 1996; Ebenezer, 1991; Kaartinen & Kumpulainen, 2002). Selon la conception scientifique acceptée, le soluté et le solvant demeurent plutôt deux substances distinctes, et le soluté garde ses propriétés en solution. Dans ce cas-ci, le

soluté est un sel et il ne s'évapore pratiquement pas à température de la pièce en raison des fortes liaisons ioniques qui le composent.

2. EFFETS DU LABORATOIRE PAR ENQUÊTE GUIDÉE

Les deux principaux faits saillants du posttest étaient le gain négatif au terme de la séquence pédagogique pour l'item Q2 ainsi que le gain positif, mais faible, pour l'item Q3. Nous nous attarderons sur l'analyse de la progression pour ces items, mais regardons d'abord les biais possibles dans cette étude.

2.1 Biais possibles

Les conclusions tirées de cette analyse sont à prendre avec précaution en raison de différents biais. Il faut garder en tête que l'utilisation d'une pédagogie active a un effet positif sur l'apprentissage et la performance aux tests conceptuels pour les cours de sciences (Freeman et al., 2014). Les effets positifs pourraient être simplement dus à l'utilisation de ce type de pédagogie et non spécifiquement à l'utilisation du laboratoire par enquête guidée. Aussi, le prétest et le posttest sont fréquemment utilisés par les enseignants pour évaluer leur pratique. Il est toutefois important d'être conscient de la limite de cet outil de collecte de données. En effet, l'utilisation d'un prétest peut mener à un biais d'expérience et donc les

changements dans le posttest peuvent résulter du prétest indépendamment de l'intervention, car (a) les participants se souviennent des questions du prétest (b) les mesures du prétest ont sensibilisé les participants à des connaissances ou à des

problèmes spécifiques ou (c) le prétest a piqué la curiosité des participants et les a motivé à apprendre le sujet après le prétest. (Frey, 2018 traduction libre).

Finalement, rappelons que les étudiants de l'enseignante-chercheuse sont surreprésentés parmi les répondants du posttest. Ces derniers pourraient avoir travaillé plus sérieusement dans cette séquence d'enseignement étant donné leur relation avec l'enseignante-chercheuse. Les effets positifs du laboratoire par enquête guidée pour l'item Q3 devront être nuancés puisqu'ils pourraient être amplifiés par ce biais.

2.2 Progression de la compréhension de l'item Q2 portant sur les représentations sous-microscopique et macroscopique

De façon surprenant à priori, l'item Q2 a été moins bien réussi après l'utilisation du laboratoire par enquête guidée. Rappelons qu'au prétest les étudiants ne se référaient pas à la représentation sous-microscopique, qu'ils ne comprennent probablement pas, pour expliquer leur réponse. Ils palliaient cette difficulté en utilisant le niveau macroscopique, plus facilement accessible, pour justifier leur réponse. L'item Q2 ne permettait donc pas d'évaluer la compréhension de la représentation sous-microscopique comme souhaité. Cet item a donc été modifié au posttest pour forcer les étudiants à recourir à la représentation sous-microscopique pour y répondre. Comme l'item Q2 n'évalue pas le même type de représentation au prétest (macroscopique) qu'au posttest (sous-microscopique), les deux questions ne sont pas équivalentes. Par conséquent, le gain négatif pour cet item ne veut pas dire grand-chose et il n'est pas possible de conclure sur l'impact du laboratoire par enquête guidée sur la compréhension de la représentation sous-microscopique.

2.3 Progression de la compréhension de l'item Q3 portant sur la représentation macroscopique

La réussite au premier palier de l'item Q3 demeure relativement faible (51 %) même après l'utilisation du laboratoire par enquête guidée. On constate tout de même un changement conceptuel pour une partie des participants avec un gain conceptuel faible d'environ 20 %. Cette section discute des effets du laboratoire par enquête guidée sur les sous-groupes de progression suivants: *bonne réponse* → *mauvaise réponse*, *mauvaise réponse* → *mauvaise réponse* ainsi que *mauvaise réponse* → *bonne réponse*. C'est ce dernier sous-groupe qui nous intéresse plus particulièrement puisque c'est celui qui est associé au changement conceptuel. Notons que le sous-groupe *bonne réponse* → *bonne réponse* présente peu d'intérêt ici puisqu'il est composé d'individus qui avaient une bonne compréhension au départ et qui comprennent toujours bien au terme de la séquence pédagogique. C'est pourquoi il ne sera pas question de ce sous-groupe dans les pages à venir.

2.3.1 Sous-groupe *bonne réponse* → *mauvaise réponse*

Il peut être préoccupant de voir que certains étudiants avaient la bonne réponse au prétest, mais la mauvaise réponse au posttest. Comme l'utilisation du laboratoire par enquête guidée vise un meilleur apprentissage conceptuel, il ne serait pas souhaitable que les étudiants développent la conception alternative lors de la séquence pédagogique. Les données obtenues ne permettent pas de le confirmer, mais il semblerait que les individus du sous-groupe *bonne réponse* → *mauvaise réponse* étaient incertains de leur réponse dans une plus grande proportion que les participants du sous-groupe *bonne réponse* → *bonne réponse* (respectivement 58 % et 26 %.) Cette confiance en

leur réponse plus faible témoignerait de l'absence de connaissances. On pourrait donc croire que la bonne réponse au prétest pour ces étudiants résulterait du hasard et non d'une réelle compréhension. Même constat pour la réponse au posttest, une confiance faible témoignerait aussi d'un manque de connaissances. Le cas du sujet 35, qui fait partie de ce sous-groupe, concorde avec cette hypothèse. Souvenons-nous qu'il n'avait pas été en mesure d'expliquer sa réponse au posttest et avait indiqué « *Ça me semble logique, mais je n'arrive pas à l'expliquer présentement* » comme justification à l'item Q3. Dans ce cas-ci, la réponse incorrecte à cet item résulte clairement d'une carence de connaissance et non d'une représentation interne en désaccord avec la théorie scientifique. En résumé, il semble que les étudiants de ce sous-groupe ne maîtriseraient pas bien les concepts de solution insaturée, saturée et sursaturée au départ et ne les maîtriseraient pas mieux au terme de la séquence pédagogique sans toutefois avoir développé la conception alternative en cours de route. Leur compréhension ne se serait donc pas améliorée, mais elle ne se serait pas non plus détériorée comme le laisse croire leur progression au test.

Mais pourquoi ces étudiants n'apprennent-ils pas? La première piste d'explication touche la vidéo utilisée pour la séquence de classe inversée. Il est possible qu'elle ne soit pas suffisante pour rendre la théorie scientifique accessible à ces étudiants. L'exposé dans la première partie de cette vidéo est un exposé descriptif où les différents types de solutions sont définis au moyen de la représentation symbolique alors que la deuxième partie explique les manipulations qui doivent être réalisées pour faire une solution sursaturée au laboratoire. À aucun moment la vidéo ne présente explicitement les différents niveaux de représentation. Ne pas mentionner le niveau de représentation impliqué lors des explications pourrait mener à des difficultés de compréhension (Taber, 2001a). En effet, ce raccourci peut poser problème à l'apprentissage parce que les étudiants

n'auront peut-être pas une maîtrise de base suffisante des différents niveaux de représentation pour arriver à suivre les explications dans la vidéo (Saint-Onge, 1996). De surcroît, les liens qui unissent les différents niveaux de représentation pour les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée, liens utiles pour passer d'un niveau à l'autre, n'ont pas non plus été abordés. La vidéo n'aurait donc pas fourni aux étudiants tous les éléments nécessaires à l'interprétation des observations expérimentales réalisées pendant le laboratoire par enquête guidée. Ils n'ont donc pas pu établir des liens significatifs entre les phénomènes dont ils ont été témoins et les processus sous-microscopique sous-jacents. Ces étudiants n'ont donc pas pu améliorer leur compréhension des concepts étudiés avec le laboratoire, ce qui se répercute évidemment sur leur score à l'item Q3.

La deuxième piste d'explication est que ceux qui ne comprennent pas ne le disent pas nécessairement. Comme les étudiants de ce sous-groupe sont peu confiants de leur réponse, il est possible qu'ils soient également moins enclins à verbaliser leur raisonnement lors des périodes de travail en équipe (Saint-Onge, 1996). L'enseignant pourrait ne pas se rendre compte que l'apprentissage a été mal fait pour ces étudiants s'ils s'expriment moins. Pour cette raison, il est possible que les étudiants de ce sous-groupe n'aient pas pu bénéficier de la rétroaction corrective de l'enseignant. Or, cette rétroaction est essentielle à l'apprentissage puisqu'elle permet aux étudiants d'identifier ce qu'ils comprennent mal et ce qu'ils doivent faire pour s'améliorer (Hattie & Timperley, 2007). Bref, ces étudiants pourraient ne pas avoir appris le concept étudié puisqu'ils n'ont pas reçu la rétroaction individuelle dont ils avaient besoin. Ce constat rappelle qu'il est important pour les enseignants de tenter de valider la compréhension de chaque étudiant puisque la rétroaction personnalisée est nécessaire pour un apprentissage conceptuel réussi.

2.3.2 *Sous-groupe mauvaise réponses → mauvaise réponse*

Les étudiants du sous-groupe *mauvaise réponse → mauvaise réponse*, n'ont pas non plus amélioré leur compréhension des concepts étudiés malgré un enseignement conceptuel. On peut diviser les étudiants de ce sous-groupe en deux catégories : ceux qui n'apprennent pas et ceux qui ne parviennent pas à surmonter une conception alternative. L'absence d'amélioration pour ceux qui n'apprennent pas pourrait être expliquée par les mêmes raisons que celles évoquées dans la section précédente soient : ne pas avoir reçu la rétroaction dont ils avaient besoin et l'absence d'enseignement explicite des différents niveaux de représentation pour les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée. Ceux qui ne parviennent pas à surmonter une conception alternative quant à eux ne s'amélioreraient pas en raison de leur incapacité à développer l'inhibition nécessaire à la régulation de leur conception alternative. Prendre conscience des limites d'une conception alternative est une étape essentielle du changement conceptuel tel que proposé dans le modèle de Potvin (2003). Voyons maintenant pourquoi cette prise de conscience n'aurait pas eu lieu lors de la séquence pédagogique.

L'objectif du laboratoire était d'élaborer une méthode expérimentale pour distinguer trois solutions, dont une saturée, une insaturée et une sursaturée. L'objectif du laboratoire ainsi formulé permettait aux étudiants de procéder par déduction pour l'identification des solutions : en effet, il leur suffisait de déterminer laquelle était la sursaturée pour procéder par élimination. Cette méthode d'identification a été observée à plusieurs reprises au laboratoire. De nombreuses stratégies expérimentales développées par les étudiants étaient basées sur des notions simples bien maîtrisées au détriment des notions plus complexes et plus difficilement accessibles. Il aurait été

intéressant de rendre l'objectif du laboratoire moins complexe en donnant une seule solution aux étudiants et leur demander si elle est saturée, insaturée ou sursaturée pour tenter de contourner ce problème. L'objectif ainsi formulé aurait orienté les efforts des étudiants pour les amener à explorer la notion souhaitée tout en leur laissant la latitude de choisir leur méthode expérimentale.

Aussi, on demandait aux étudiants de développer deux stratégies expérimentales seulement. Il est permis de croire que la méthode expérimentale élaborée par certains étudiants ne leur permettait pas de constater les limites de leur conception alternative. Par exemple, certains ont mesuré le pH de chaque solution, ce qui leur a permis de les classer en ordre croissant de concentration étant donné que le pH est proportionnel avec la concentration dans ce cas-ci. Cette stratégie expérimentale est valable, mais elle considère uniquement l'état statique de la solution. Elle ne leur a pas permis de voir le côté dynamique. Par exemple, ils n'ont pas pu observer comment les solutions saturée, insaturée et sursaturée réagissent lorsqu'on leur ajoute du soluté. En somme, exiger des étudiants un plus grand nombre de stratégies expérimentales les aurait forcés à sortir de leur zone de confort en plus de leur donner la possibilité d'observer une plus grande variété de phénomènes expérimentaux.

En outre, les écarts aux directives pédagogiques par les enseignants auraient restreint le nombre d'occasions mis à la disposition des étudiants pour prendre conscience des contextes dans lesquels leurs conceptions ne peuvent être appliquées. Rappelons que les étudiants d'un groupe ont travaillé à l'élaboration de la méthode expérimentale à la maison et n'ont pas pu interagir avec des pairs qui ont des conceptions différentes des leurs. Une confrontation des idées aurait été bénéfique pour saisir les limites des conceptions alternatives (Potvin, 2013). Aussi, certains

étudiants ont obtenu des réponses trop directes à leurs questions et n'ont pas eu l'occasion de prendre des décisions lors de l'élaboration de leurs stratégies expérimentales. Une guidance moins directive aurait vraisemblablement permis un meilleur apprentissage conceptuel (Blanchard et al., 2010). En effet, une expérimentation non concluante aurait permis aux étudiants de constater le décalage entre leur raisonnement et les observations expérimentales. Tout compte fait, ce sont probablement les étudiants du sous-groupe *mauvaise réponse* → *mauvaise réponse* avec des conceptions alternatives qui auraient le plus bénéficié du protocole de recherche intégral. Une meilleure application des recommandations pédagogiques concernant le travail en équipe et la guidance aurait possiblement mené à une augmentation du nombre de changements conceptuels et par conséquent une diminution du nombre d'étudiants dans le sous-groupe *mauvaise réponse* → *mauvaise réponse*.

2.3.3 Sous-groupe *mauvaise réponse* → *bonne réponse*

Voyons maintenant le cas du sous-groupe associé au changement conceptuel, c'est-à-dire les étudiants dont la progression est *mauvaise réponse* → *bonne réponse*. On constate que le laboratoire par enquête guidée semble avoir permis un meilleur apprentissage conceptuel puisque 33% des étudiants qui avaient la conception alternative au prétest ont bien répondu au posttest. Fait intéressant, les garçons sont surreprésentés dans ce sous-échantillon. Le laboratoire par enquête guidée en chimie, tel qu'expérimenté lors de ce projet d'innovation pédagogique, semble avoir été plus efficace à stimuler le changement conceptuel chez les garçons que chez les filles de notre échantillon. Voici deux propositions d'explication pour ce phénomène.

La première découle du fait que les garçons sont plus certains de leur mauvaise réponse que les filles. Les observations expérimentales auraient pu jouer un rôle correctif plus important auprès des garçons étant donné le paradoxe plus grand entre les observations faites au laboratoire et leurs croyances (Posner & Strike, 1992). À l'inverse, comme les filles avaient une confiance en leur réponse plus faible, elles sont plus susceptibles d'ignorer la rétroaction fournie par l'expérimentation ce qui nuit au développement de l'inhibition et diminue les chances de changement conceptuel.

La deuxième piste d'explication est que les garçons et les filles s'engagent différemment dans les laboratoires par enquête guidée (Corriveau & Langlois, 2011). En effet, dans leur étude de 2011, Corriveau et Langlois ont constaté que les garçons étaient plus à l'aise avec la nature empirique de ce type de laboratoire. Ils sont moins enclins à poser des questions aux personnes-ressources et sont plus portés sur la résolution de problème de type essai et erreur que les filles. Le laboratoire par enquête guidée pourrait donc avoir des effets plus importants chez les garçons puisqu'il s'arrime mieux avec leur façon d'apprendre. Cette étude a toutefois été réalisée dans un cours de physique et la physique est perçue plus favorablement par les garçons (Cormier & Pronovost, 2016; Kessels, 2005) alors qu'il n'y a pas de différence notable entre les garçons et les filles pour la chimie (Cormier & Pronovost, 2016). Il est donc possible que les constatations de Corriveau et Langlois ne puissent être transférées au laboratoire par enquête guidée en chimie.

3. RETOUR SUR LES OBJECTIFS DE L'INNOVATION PÉDAGOGIQUE

L'objectif du projet d'innovation était de diminuer la présence des conceptions alternatives en lien avec la solubilité chez les étudiants du cours de *Chimie des solutions*. Plus spécifiquement,

il était souhaité de : 1) Identifier les principales difficultés conceptuelles de la population étudiée au regard des concepts de solutions saturée, insaturée et sursaturée et 2) Évaluer l'impact d'une séquence pédagogique comprenant un laboratoire par enquête guidée sur la compréhension de ces concepts.

Le premier objectif du projet a été atteint puisque les principales conceptions alternatives chez la population andré-laurendienne ont été identifiées (critère 1) et les raisonnements qui les sous-tendent ont été mis en lumière (critère 2). Ces conceptions découlent souvent d'un raisonnement par heuristique qui témoigne, entre autres, de la difficulté qu'ont les étudiants de passer d'un niveau de représentation à un autre.

Le deuxième objectif quant à lui a été atteint partiellement. Un gain conceptuel faible a été constaté pour l'item Q3 (critère 1) et plusieurs pistes d'explications ont été proposées pour le fait que des étudiants présentent toujours la conception alternative au terme de la séquence pédagogique (critère 2). Pour atteindre complètement cet objectif, il aurait fallu pouvoir tirer des conclusions pour l'item Q2, mais il n'a pas été possible de suivre la progression de la compréhension de la représentation sous-microscopique parce que le prétest a été mal conçu.

En somme, le projet d'innovation a permis d'atteindre l'objectif général et de répondre à la question de recherche :

Le laboratoire par enquête guidée peut-il être utilisé pour provoquer un changement conceptuel au regard des conceptions alternatives en lien avec les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée?

En effet, les résultats obtenus tendent à démontrer que le laboratoire par enquête guidée peut contribuer à diminuer la prévalence des conceptions alternatives en *Chimie des solutions*.

CONCLUSION

1. RAPPEL DU PROJET D'INNOVATION

Ce projet d'innovation s'inscrit dans une démarche SoTL. Dans un premier temps, des conceptions alternatives, qui sont des représentations internes en inadéquation avec la théorie scientifique, ont été constatées chez la population étudiante du cours de *Chimie des solutions*. Il s'agit d'un problème parce qu'elles peuvent mener à de mauvaises prédictions de phénomènes chimiques et compromettre l'apprentissage de nouvelles notions. L'analyse de la pratique enseignante révèle que ce problème découle de l'enseignement de concepts au niveau sous-microscopique. Le laboratoire par enquête guidée sera utilisé pour tenter de résoudre ce problème.

Afin de bien mener le projet, l'appropriation de certains concepts relatifs à l'innovation proposée a été nécessaire. Les conceptions alternatives ne sont ni éliminées ni transformées lors de l'apprentissage : elles coexistent avec la théorie scientifique. Le changement conceptuel est le développement de l'autorégulation pour que la théorie scientifique supplante ces conceptions. Le laboratoire par enquête guidée est un laboratoire pour lequel l'enseignant fournit la question de recherche alors que l'étudiant élabore la méthode expérimentale et choisit le mode d'analyse des données. La guidance de l'enseignant pendant ce processus est cruciale, il est important d'éviter d'être trop directif ou trop vague dans son accompagnement pour s'assurer des bienfaits de ce type de laboratoire sur la compréhension conceptuelle.

L'innovation a par la suite été conçue autour d'une séquence pédagogique impliquant une portion de classe inversée suivie d'un laboratoire par enquête guidée. Pour le laboratoire, les

étudiants devaient concevoir une méthode expérimentale pour ensuite la mettre en œuvre. Deux stratégies expérimentales devaient être utilisées pour distinguer hors de tout doute trois solutions : une saturée, une insaturée et une sursaturée. Afin de mieux comprendre les difficultés conceptuelles et pour évaluer l'impact du laboratoire par enquête guidée sur la compréhension conceptuelle, des données ont été recueillies par le biais de deux questionnaires conceptuels à multipaliers réalisés avant (prétest) et après (posttest) la séquence de laboratoire par enquête guidée.

La mise en œuvre du projet d'innovation s'est faite dans tous les groupes de *Chimie des solutions* du Cégep André-Laurendeau à la session d'hiver 2020. L'échantillon est composé au total de 107 étudiants, dont 59 filles et 48 garçons, ce qui représente un taux de participation de 76 %. L'item le moins bien réussi est l'item Q3 portant sur la représentation macroscopique avec un pourcentage de réussite de 39 %. Au terme de la séquence pédagogique, on note un gain conceptuel faible pour cet item : un changement conceptuel a été observé chez 13 étudiants, dont plus de garçons que de filles. Les justifications au deuxième palier révèlent des difficultés conceptuelles en lien avec le patron de saturation associé à la représentation sous-microscopique ainsi que de la difficile transition entre deux niveaux de représentation.

La démarche SoTL s'est conclue par une évaluation du projet d'innovation. Il a permis de mettre en lumière 3 conceptions alternatives : le précipité rend la solution saturée, une solution saturée peut avoir deux concentrations différentes aux mêmes conditions et le soluté se combine avec le solvant une fois dissout. Les mauvais raisonnements menant à ces conceptions impliquent, pour la plupart, des heuristiques mal employées. Les résultats obtenus tendent à démontrer que le

laboratoire par enquête guidée peut contribuer à diminuer la prévalence des conceptions alternatives. Il a été particulièrement efficace auprès des garçons de notre échantillon, probablement parce que ce type de laboratoire s'arrime mieux à leur manière d'apprendre et parce que les observations expérimentales ont possiblement eu un rôle correctif plus grand en raison de leur confiance plus élevée en leur mauvaise réponse.

Finalement, le projet d'innovation a contribué au développement professionnel de l'enseignante-chercheuse en lui permettant de vivre les différentes étapes d'un projet de recherche. Elle a pu se familiariser, notamment, avec la littérature scientifique en éducation, la conception d'outils de collectes de données ainsi que l'analyse statistique de données. Ce projet lui a permis d'être mieux outillée et lui a donné confiance pour prendre en charge un tel projet dans le futur.

2. LIMITES DE L'INNOVATION ET PISTES D'AMÉLIORATIONS

L'utilisation du laboratoire par enquête guidée semble prometteuse pour provoquer un changement conceptuel en chimie, mais, pour le moment, son étude a été limitée aux concepts de solutions saturée, insaturée et sursaturée. Il faudrait étudier plus largement l'étendue des impacts de cette méthode pédagogique sur la compréhension dans d'autres cours et pour d'autres concepts avant de conclure sur ses bienfaits pour l'enseignement de la chimie.

Le matériel pédagogique conçu lors de l'élaboration du projet constitue une des limites de l'innovation. La vidéo réalisée pour la séquence de classe inversée ne prend pas en compte les différents niveaux de représentation de la matière, ni comment ils sont liés entre eux. Comme cela représente le principal obstacle à la compréhension des étudiants, il aurait été pertinent d'avoir une

deuxième capsule vidéo montrant explicitement la représentation macroscopique, sous-microscopique et symbolique pour les concepts de solutions insaturée, saturée et sursaturée. Aussi, les consignes transmises aux étudiants pour l'élaboration de la méthode expérimentale ne permettent pas aux étudiants de faire des observations dans des contextes assez variés ni d'explorer des notions avec lesquels ils sont moins familiers. Revoir la quantité de stratégies expérimentales nécessaires pour atteindre le but pourrait être un moyen de contourner ce problème.

Une autre limite réside dans le fait que l'échantillon posttest est composé en majorité par les étudiants de l'enseignante-chercheuse. Pour cette raison, aucune conclusion sur « l'effet prof » et sur la guidance n'a pu être tirée. Comme cette dernière joue un rôle majeur dans le succès du laboratoire par enquête guidée, il aurait été pertinent de répertorier les interventions effectuées par les enseignants lors de la séquence pédagogique pour ensuite identifier celles qui ont le meilleur impact sur la compréhension conceptuelle.

Finalement, la collecte de données ne comprenait pas de volet sur la perception de ce type de laboratoire par les étudiants. Comme cette étude montre qu'il semble y avoir des effets différents chez les garçons et chez les filles, il aurait été intéressant de voir s'ils ont vécu l'expérience de la même manière. En outre, peut-être que la collecte et l'analyse des artéfacts générés par les étudiants pendant de la séquence de laboratoire par enquête guidée aurait pu faire émerger d'autres pistes d'explication pour cette différence entre les deux sexes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abraham, M. R. (2011). What Can Be Learned from Laboratory Activities? Revisiting 32 Years of Research. *Journal of Chemical Education*, 88(8), 1020-1025. <https://doi.org/10.1021/ed100774d>
- Adadan, E. (2014). Investigating the influence of pre-service chemistry teachers' understanding of the particle nature of matter on their conceptual understanding of solution chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15(2), 219-238. <https://doi.org/10.1039/C4RP00002A>
- Adadan, E., & Savasci, F. (2012). An analysis of 16–17-year-old students' understanding of solution chemistry concepts using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 34(4), 513-544. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.636084>
- Aditomo, A., & Klieme, E. (2020). Forms of inquiry-based science instruction and their relations with learning outcomes : Evidence from high and low-performing education systems. *International Journal of Science Education*, 42(4), 504-525. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1716093>
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences : Repères, définitions, bibliographies* (2e éd.). Buxelles: de Boeck Université.
- Awad, E., Brouillette, Y., Cormier, C., & Turcotte, V. (2017). Planifier, réaliser et diffuser des vidéos éducatives : Lignes directrices et astuces pour les enseignants. *Profweb*. Repéré à <https://www.profweb.ca/auteurs/caroline-cormier>
- Bélisle, M., Lison, C., & Bédard, D. (2016). Accompagner le Scholarship of Teaching and Learning. Dans *Le conseil pédagogique dans l'enseignement supérieur* (pp. 75-108). Louvain-la-Neuve, Belgique: De Boeck.
- Birdwell, J., & Peshkin, M. (2015). Capturing Technical Lectures on Lightboard. Dans *2015 ASEE Annual Conference and Exposition Proceedings* (p. 26.325.1-26.325.9). Seattle, Washington: ASEE Conferences. <https://doi.org/10.18260/p.23664>
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is Inquiry Possible in light of Accountability? : A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Çalyk, M., Ayas, A., & Ebenezer, J. V. (2005). A Review of Solution Chemistry Studies : Insights into Students? Conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), 29-50. <https://doi.org/10.1007/s10956-005-2732-3>
- Cheung, D. (2011). Teacher Beliefs about Implementing Guided-Inquiry Laboratory Experiments for Secondary School Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 88(11), 1462-1468. <https://doi.org/10.1021/ed1008409>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd éd.). NJ: Erlbaum: Hillsdale.
- Cormier, C. (2014). *Étude des conceptions alternatives et des processus de raisonnement des étudiants de chimie du niveau collégial sur la molécule, la polarité et les phénomènes macroscopiques*. Université de Montréal, Montréal.
- Cormier, C., & Pronovost, M. (2016). Intérêt et motivation des jeunes pour les sciences, 186.

- Corriveau, G., & Langlois, S. (2011). Pour un meilleur engagement des garçons et des filles au laboratoire de physique. *Pédagogie collégiale*, 24(3), 37-44.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms : A Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61-84. <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Ebenezer, J. V. (1991). *Students' Conceptions of Solubility : A Teacher-Researcher Collaborative Study*. University of British-Colombia, British-Colombia.
- Ebenezer, Jazlin V., & Erickson, G. L. (1996). Chemistry Students' Conceptions of Solubility : A Phenomenography. *Science Education*, 80(2), 181-201. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199604\)80:2<181::AID-SCE4>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199604)80:2<181::AID-SCE4>3.0.CO;2-C)
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Frey, B. B. (2018). *The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation*. 2455 Teller Road, Thousand Oaks, California 91320: SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781506326139>
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry : A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25(1), 69-96. <https://doi.org/10.1080/03057269508560050>
- Gilbert, J. K., & Watts, D. M. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions : Changing Perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98. <https://doi.org/10.1080/03057268308559905>
- Gok, T. (2014). Peer Instruction in the Physics Classroom : Effects on Gender Difference Performance, Conceptual Learning, and Problem Solving. *Journal of Baltic Science Education*, 13(6), 776-788.
- Gouvernement du Québec. *Décret 177-2020* (177-2020). , Pub. L. No. 177-2020 (2020). Repéré à <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/sante-services-sociaux/publications-adm/lois-reglements/decret-177-2020.pdf?1584224223>
- Griffiths, A., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611-628. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290609>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods : A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules : Implications for Teaching Chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-237x\(199609\)80:5<509::aid-sce2>3.0.co;2-f](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-237x(199609)80:5<509::aid-sce2>3.0.co;2-f)
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hensler, H. (2008). La collecte des données dans le cadre d'une recherche-action en enseignement. Université de Sherbrooke.

- Herron, J. D., & Eubanks, I. D. (1996). *The Chemistry Classroom : Formulas for Successful Teaching*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (2003). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Kaartinen, S., & Kumpulainen, K. (2002). Collaborative inquiry and the construction of explanations in the learning of science. *Learning and Instruction*, 12(2), 189-212. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00004-4)
- Karsenti, T., & Savoie-Zajc, L. (2018). Dans *La recherche en éducation : Étapes et approches* (4e éd.). Montréal: Presse de l'Université de Montréal. Repéré à <https://www.jstor.org/stable/j.ctv69sv3w.8>
- Kawalkar, A., & Vijapurkar, J. (2013). Scaffolding Science Talk : The role of teachers' questions in the inquiry classroom. *International Journal of Science Education*, 35(12), 2004-2027. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.604684>
- Kelly, J., Krause, S., & Baker, D. (2010). A Pre-Post Topic Assessment Tool for Uncovering Misconceptions and Assessing Their Repair and Conceptual Change. Communication présentée au 40th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/fie.2010.5673206>
- Kessels, U. (2005). Fitting into the stereotype : How gender-stereotyped perceptions of prototypic peers relate to liking for school subjects. *European Journal of Psychology of Education*, 20(3), 309-323. <https://doi.org/10.1007/BF03173559>
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning : Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681-718. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Lorenzo, M., Crouch, C. H., & Mazur, E. (2006). Reducing the gender gap in the physics classroom. *American Journal of Physics*, 74(2), 118-122. <https://doi.org/10.1119/1.2162549>
- Maass, S., & Krause, S. J. (2014). The Effect of Incorporating YouTube Videos into an Intervention Addressing Students' Misconceptions Related to Solutions, Solubility, and Saturation. *ASEE Annual Conference & Exposition, 121st*.
- Masson, S., Potvin, P., Riopel, M., & Foisy, L.-M. B. (2014). Differences in Brain Activation Between Novices and Experts in Science During a Task Involving a Common Misconception in Electricity : Brain Activation Related to Scientific Expertise. *Mind, Brain, and Education*, 8(1), 44-55. <https://doi.org/10.1111/mbe.12043>
- McClary, L. M., & Bretz, S. L. (2012). Development and Assessment of A Diagnostic Tool to Identify Organic Chemistry Students' Alternative Conceptions Related to Acid Strength. *International Journal of Science Education*, 34(15), 2317-2341. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.684433>
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Projet de réforme du DEC en sciences de la nature (200.B0) (SD (version de consultation)).
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2016). *Effectif à l'enseignement collégial selon diverses variables, au trimestre d'automne, Québec*. Québec, Qc. Repéré à <http://www.bdso.gouv.qc.ca/>

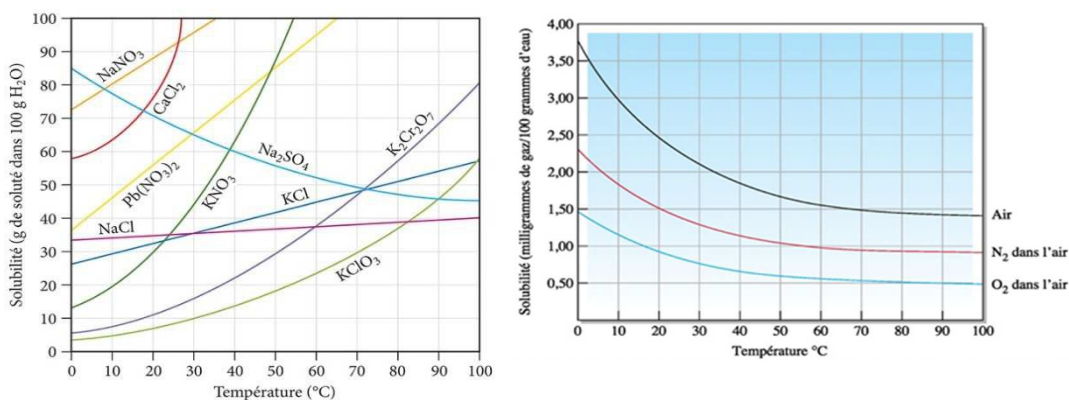
- Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction-What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496. <https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An Inventory for Alternate Conceptions among First-Semester General Chemistry Students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744. <https://doi.org/10.1021/ed079p739>
- Pinarbasi, T., & Canpolat, N. (2003). Students' Understanding of Solution Chemistry Concepts. *Journal of Chemical Education*, 80(11), 1328. <https://doi.org/10.1021/ed080p1328>
- Posner, G. J., & Strike, K. A. (1992). A revisionist theory of conceptual change. Dans *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany, NY: State University of New York Press.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception : Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Potgieter, M., Malatje, E., Gaigher, E., & Venter, E. (2010). Confidence versus Performance as an Indicator of the Presence of Alternative Conceptions and Inadequate Problem-Solving Skills in Mechanics. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1407-1429. <https://doi.org/10.1080/09500690903100265>
- Potvin, P. (2013). Proposition for Improving the Classical Models of Conceptual Change Based on Neuroeducational Evidence : Conceptual Prevalence. *Neuroeducation*, 2(1), 16-43. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20130201.16>
- Potvin, P., Hasni, A., & Sy, O. (2017). Using inquiry-based interventions to improve secondary students' interest in science and technology. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 5(3), 262-270.
- Potvin, P., & Thouin, M. (2003). Étude qualitative d'évolutions conceptuelles en contexte d'explorations libres en physique-mécanique au secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 29(3), 525. <https://doi.org/10.7202/011402ar>
- Roecker, L. (2007). Using Oral Examination as a Technique To Assess Student Understanding and Teaching Effectiveness. *Journal of Chemical Education*, 84(10), 1663. <https://doi.org/10.1021/ed084p1663>
- Saint-Onge, M. (1996). *Moi, j'enseigne, mais eux, apprennent-ils?* Lyon; Laval: Chronique sociale ; Beauchemin.
- Schmid, S., & Bogner, F. X. (2015). Does Inquiry-Learning Support Long-Term Retention of Knowledge? *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 10(4), 51.
- Shtulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition*, 124(2), 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.04.005>
- Taber, K. S. (1995). Development of Student Understanding : A case study of stability and lability in cognitive structure. *Research in Science & Technological Education*, 13(1), 89-99. <https://doi.org/10.1080/0263514950130108>
- Taber, K. S. (2001a). Building the Structural Concepts of Chemistry : Some Considerations from Educational Research. : *Research and Practice in Europe*, 2(2), 123-158. <https://doi.org/10.1039/b1rp90014e>

- Taber, K. S. (2001b). The Mismatch between Assumed Prior Knowledge and the Learner's Conceptions : A typology of learning impediments. *Educational Studies*, 27(2), 159-171. <https://doi.org/10.1080/03055690120050392>
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet : Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(2), 156-168. <https://doi.org/10.1039/C3RP00012E>
- Taber, K. S., Tsaparlis, G., & Nakiboğlu, C. (2012). Student Conceptions of Ionic Bonding : Patterns of thinking across three European contexts. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2843-2873. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.656150>
- Talanquer, V. (2006). Commonsense Chemistry : A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Science and Education*, 83(5), 811-816. <https://doi.org/10.1021/ed083p811>
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic : The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2007). The Taiwan National Science Concept Learning Study in an International Perspective. *International Journal of Science Education*, 29(4), 391-403. <https://doi.org/10.1080/09500690601072790>
- Vosniadou, S. (2019). The Development of Students' Understanding of Science. *Frontiers in Education*, 4. <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00032>
- Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2017). Is it the Earth that turns or the Sun that goes behind the mountains? Students' misconceptions about the day/night cycle after reading a science text. *International Journal of Science Education*, 39(15), 2027-2051. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1361557>
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. Dans *Gabel (dir.), Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 177-210). New York, NY: Simon & Schuster Macmillan.

ANNEXE A. DEVOIR SUR LES CONCEPTS DE SOLUTION INSATURÉE, SATURÉE ET SURSATURÉE

Nom : _____

1. La solubilité de différentes substances à différentes températures est montrée dans les figures ci-dessous.



▲ FIGURE 1.10 Solubilité et température

©CEPI, tous droits réservés.

- a) Suggérer une concentration en solution de KClO₃ à 30°C (en g de soluté/100g d'eau) plausible pour chacune des situations suivantes :

- Saturée sans précipité : _____
- Insaturée : _____
- Sursaturée : _____
- Saturée avec précipité : _____

- b) Une solution est saturée en K₂Cr₂O₇ et en N₂ à 30°C. Lorsque la solution est chauffée, quelle situation est la plus susceptible de se produire ? **Justifier brièvement votre réponse.**

- Des bulles d'azote gazeux s'échappent de la solution
- Un dépôt de K₂Cr₂O₇ apparaît au fond du contenant
- Des bulles d'azote gazeux s'échappent de la solution et un dépôt de K₂Cr₂O₇ apparaît au fond du contenant.
- Rien ne se passe

Justification :

2. Certaines municipalités ajoutent des ions fluorure au réseau de distribution d'eau potable de manière artificielle. C'est ce qu'on appelle la fluoration de l'eau potable. Malgré que ce soit controversé, on estime qu'une concentration de 1,0 ppm de F^- préviendrait la carie dentaire et améliorerait la santé des dents et de la bouche. Moins de 3 % des québécois consomment de l'eau potable fluorée. Vous êtes l'ingénieur responsable du service d'aqueduc d'une ville et vous étudiez les composés pouvant être utilisés pour faire la fluoration de l'eau. Un collègue vous dit que vous devriez envisager l'ajout de MgF_2 . Le sel est-il suffisamment soluble dans l'eau comme source d'ion fluorure pour la fluoration ? Autrement dit, seriez-vous capable de faire une solution avec une concentration de 1,0 ppm en fluor à partir du MgF_2 ? **Justifier votre réponse.**



ANNEXE B. CONSIGNES POUR L'ÉLABORATION DE LA MÉTHODE POUR LE LABORATOIRE DE CONCEPTION

1. Objectif de l'expérience

- Distinguer trois solutions d'acétate de sodium dont l'une est saturée, une autre est insaturée et l'autre est sursaturée.

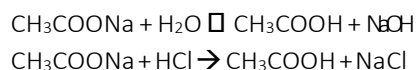
2. Nouvelles techniques

□ Aucune

3. Contexte théorique

L'acétate de sodium (CH_3COONa) est un composé ionique très soluble dans l'eau. À température ambiante sa solubilité est de 3,8 mol/L et cette dernière augmente avec la température comme le montre la figure D1².

Comme l'acétate de sodium est une base, il réagit avec l'eau et avec le HCl, un acide, selon les réactions suivantes :



Il est possible de suivre la réaction entre l'acide chlorhydrique et l'acétate de sodium en utilisant un indicateur acido-basique : le bleu de thymol. La couleur de cet indicateur change en fonction du pH comme le montre la figure D2. Il est possible de voir l'atteinte du point d'équivalence par un changement de couleur, comme le pH à ce moment est d'environ 2,20, l'apparition d'une couleur rouge indique la fin du titrage.



Figure D2 : Couleurs de l'indicateur Bleu de thymol à différent pH. La zone de virage entre la couleur bleue et jaune s'effectue dans l'intervalle de pH allant de 6,0 à 7,6, alors que la zone de virage entre la couleur jaune et rouge s'effectue dans l'intervalle de pH allant de 1,2 à 2,8. Pour un rappel des notions de solubilité vous pouvez revoir la

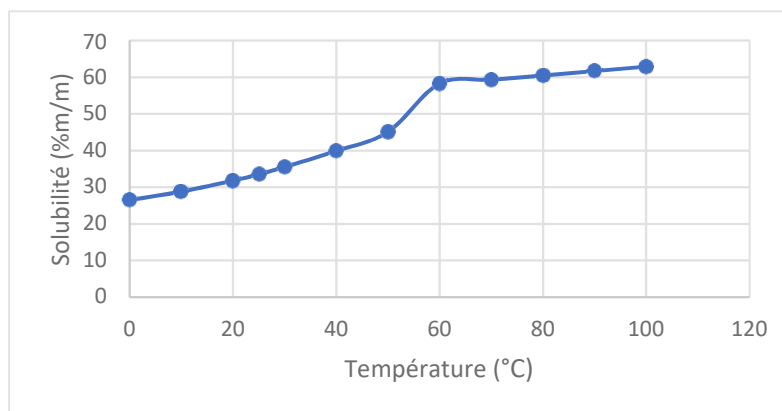


Figure D1 : Solubilité de l'acétate de sodium à différentes températures.

² CRC handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data, Boca Raton, CRC Press, 2002.

vidéo intitulée « [Solubilité](#) » et pour des rappels concernant le principe de LeChatelier « [Principe de LeChatelier et solubilité](#) ».

4. Manipulations

Deux périodes de laboratoire (110 minutes) seront allouées à la réalisation du protocole. Les manipulations seront effectuées en équipe de deux. Les questions qui suivent devraient faciliter la conception de la méthode. Du temps en classe sera consacré pour répondre aux deux séries de questions.

a. Critère à respecter

Vous devez utiliser au moins deux stratégies expérimentales différentes pour **prouver hors de tout doutes** l'identité des trois solutions.

b. Matériel fourni

- Burettes de 25 mL et de 50 mL
- Fiole jaugée de 50 mL et de 100 mL
- Eau distillée
- pH-mètre
- Réfractomètre
- Bain ultrason
- Verrerie de votre tiroir de laboratoire
- Eudiomètre
- Éprouvettes
- Sels : NaCl, CH_3COONa , CH_3COOK
- Solution d'acide chlorhydrique (HCl 3 mol/L)
- Solution de bleu de thymol
- Glace
- 75 mL de chacune des solutions d'acétates de sodium (une insaturée, une saturée et une sursaturée)

c. Questions

1. Définir ce qu'est une solution saturée, insaturée et sursaturée.
2. Identifier ce qu'il y a de différent entre une solution insaturée, saturée et sursaturée.
3. Décrire comment vous pourriez constater expérimentalement ces différences. Autrement dit, rédiger un protocole expérimental qui vous permettrait de distinguer les trois types de solutions en laboratoire.
4. Formuler une hypothèse quant aux résultats que vous devriez obtenir pour chaque type de solution (saturée, insaturée et sursaturée).

ANNEXE C. DIRECTIVES TRANSMISES AUX ENSEIGNANTS POUR L'IMPLANTATION DE LA SÉQUENCE PÉDAGOGIQUE³

Pourquoi poser des questions?

- Supporter et encourager les étudiants à réfléchir.
- Encourager les étudiants à expliciter et à articuler leur raisonnement.
- Favoriser les échanges entre les étudiants.
- Mettre au défi de résoudre les incohérences entre les différents points de vue.
- Demander des justifications pour les arguments avancés.

Comment je fais ça?

Types de questions	Exemples
1. Explorer les pré-requis (Rappels de notions théorique, évaluer la compréhension des notions préalables)	Qu'est-ce qu'une solution sursaturée? De quoi aura l'air la solution si elle est saturée?
2. Approfondir les réponses initiales (Clarification, demander d'élaborer, ou de justifier, souligner les contradictions, donner des indices)	Pourquoi sais-tu que ... ? Que veux-tu dire par ... ? Qu'est-ce qui arriverait si ... ? Comment se peut-il que ... ?
3. Affiner les conceptions et les clarifications (Provoquer une réflexion, demander comment tester l'hypothèse, aider à faire des liens)	Comment peut-on évaluer la concentration d'une solution en laboratoire? Est-ce que les solutions seront visuellement différentes au laboratoire? Seras-tu en mesure de déterminer expérimentalement les concentrations des trois types de solutions?

Ce qu'il faut éviter...

- De trop guider les étudiants, cela pourrait annuler les bienfaits de la méthode pédagogique.
- De poser des questions fermées.
- Dire la bonne réponse ou confirmer que les étudiants sont dans la bonne voie.

³ Adapter de Kawalkar, A. et Vijapurkar, J. (2013)

ANNEXE D. CERTIFICATION ÉTHIQUE



Comité d'éthique à la recherche
École de technologie supérieure

9 décembre 2019

Titre du projet : Le laboratoire par enquête guidée pour provoquer un changement conceptuel en *Chimie des solutions*

Responsable : Véronique Turcotte, Professeure au département de chimie
Cégep André-Laurendeau

No de référence : H2019002 **Type de demande :** *Nouvelle*

APPROBATION FINALE

Madame Turcotte,

Nous accusons réception du dossier modifié et des documents demandés selon les recommandations émises par le Comité d'éthique de la recherche (CÉR) dans sa lettre du 29 novembre 2019. Après révision, le dossier est jugé conforme aux exigences éthiques. J'ai donc le plaisir de vous informer que **votre projet est approuvé et que vous pouvez procéder au recrutement de vos participants.**

Vous trouverez, jointe à la présente, une copie du formulaire d'information et de consentement **approuvé par le CÉR** (*version PDF datée du 9 décembre 2019*). Veuillez utiliser cette version du document pour le recrutement.

L'approbation éthique de votre projet est valable pour une année à compter de la date d'approbation finale. Selon l'état d'avancement de votre projet à la date mentionnée ci-dessous, vous devrez fournir au CÉR un rapport de suivi annuel pour demander le renouvellement de l'approbation éthique ou la fermeture du dossier.

En acceptant la présente approbation éthique, vous vous engagez à :

- Observer une **conduite responsable** tout au long de vos travaux de recherche;

- Informer dès que possible le CÉR de **tout changement** apporté au projet ou **tout évènement imprévu** qui surviendrait au cours d'une séance de collecte de données;
- Respecter les **conditions de confidentialité et de protection des renseignements et des données**, telles qu'énoncées dans le dossier et approuvées par le CÉR;
- Conserver cette approbation éthique **valide au moins jusqu'à la publication des premiers résultats** de la recherche.

Si vous avez des questions ou des préoccupations éthiques au cours de votre projet, veuillez me contacter par courriel [ou par téléphone](#) **(514) 396-8800 poste 7807**

Veuillez agréer, Madame Turcotte, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Laurence Marck, M.Sc.A
Coordonnatrice, Comité d'éthique de la
recherche

ÉCHÉANCE DE L'APPROBATION ÉTHIQUE
(Date limite pour la remise du rapport annuel)
9 décembre 2020

ANNEXE E. FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT (FIC) ET QUESTIONNAIRES

1. FIC ET PRÉTEST



Projet H20191002
FIC, version 9 décembre 2019

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

TITRE DU PROJET DE RECHERCHE

Le laboratoire par enquête guidée pour provoquer un changement conceptuel en *Chimie des solutions*

CHERCHEUSE RESPONSABLE

Véronique Turcotte, professeure au département de Chimie – Cégep André-Laurendeau

COLLABORATRICE

Caroline Cormier, professeure au département de Chimie – Cégep André-Laurendeau

INTRODUCTION

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles à la chercheuse responsable de ce projet ou à un membre de l'équipe de recherche, et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

Dans le cadre du cours *Chimie des solutions*, votre enseignante utilise une méthode pédagogique appelée « classe inversée ». Cette stratégie d'apprentissage vise à inverser la nature des travaux réalisés en classe

avec ceux réalisés à la maison. Ainsi, les étudiants apprennent la matière de façon autonome en dehors de la classe, et les heures de classe sont davantage axées sur la réalisation de travaux pratiques et sur les discussions avec l'enseignant(e). Par ailleurs, durant la session, votre enseignante utilisera un laboratoire par enquête guidée pour vous apprendre les concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée. Vous devrez visionner une capsule vidéo à la maison, puis vous devrez élaborer une méthode expérimentale permettant de distinguer les trois types de solutions.

Le but de ce projet de recherche est de vérifier si le laboratoire par enquête guidée peut contribuer à une meilleure compréhension des concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée. Pour ce faire, nous utiliserons des questionnaires ainsi que des entrevues (volet facultatif) afin d'évaluer la progression de votre compréhension de ces concepts.

Pour mener à bien ce projet, nous souhaitons recruter entre 112 et 140 participants, hommes et femmes, âgés de plus de 17 ans. Parmi ces participants, 10 seront invités à prendre part à un volet facultatif comprenant des entrevues.

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

1. Lieu de réalisation du projet de recherche et durée de la participation

Si vous remplissez les questionnaires, le projet se déroulera en classe pendant les heures normales du cours. Votre participation à ce projet sera répartie sur deux séances et durera 1h10.

Si vous choisissez de participer aux entrevues facultatives, cette partie du projet se déroulera dans une classe à l'extérieur des heures de cours selon vos disponibilités. Votre participation durera environ 1h00 de plus et nécessitera 2 rencontres supplémentaires.

2. Nature de votre participation

Questionnaires

Votre participation consiste à répondre à deux questionnaires à choix multiple portant sur votre compréhension des concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée. Le remplissage de chacun des questionnaires devrait nécessiter 20 minutes. Le premier questionnaire sera rempli avant le laboratoire d'enquête guidée, et le second après.

Si vous acceptez de participer à cette étude, votre moyenne générale au secondaire sera communiquée à l'équipe de recherche. Cette donnée nous permettra de déterminer s'il y a un lien entre les conceptions alternatives et les notes scolaires.

Entrevues (volet facultatif)

Certains et certaines d'entre vous auront aussi la possibilité de participer à deux entrevues d'approfondissement sur votre compréhension des concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée. Chaque entrevue est d'une durée maximale de 30 minutes et sera enregistrée. Les deux entrevues seront espacées d'environ deux semaines.

AVANTAGES ET BÉNÉFICES ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

Il se peut que vous retiriez un bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine de recherche.

INCONVÉNIENTS ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

Il est possible que vous soyez nerveux ou nerveuse d'avoir les bonnes réponses aux questionnaires. Votre enseignant(e) fera un retour en classe sur les réponses attendues. La participation à la recherche et les réponses que vous donnerez aux questionnaires n'auront aucun impact sur votre note finale.

CONFLIT DE ROLES

Si la chercheuse principale est votre enseignante, vous pourriez vous sentir obligé(e) de participer à la recherche. Afin d'éviter que vous ressentiez de la pression à participer, sachez que la chercheuse ne sera pas en mesure de savoir qui sont les participants et participantes avant la fin de la session, car les données seront traitées uniquement après la remise des notes finales. Entre temps, les questionnaires et les formulaires de consentement seront conservés dans une enveloppe scellée.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en informant l'équipe de recherche.

Votre décision de ne pas participer à ce projet de recherche ou de vous en retirer n'aura aucune conséquence sur votre réussite du cours et sur votre parcours académique.

La chercheuse responsable de ce projet de recherche, le Comité d'éthique de la recherche de l'École de technologie supérieure ou le Cégep André-Laurendeau peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement. Cela peut se produire si de nouvelles découvertes ou informations indiquent que votre participation au projet n'est plus dans votre intérêt, si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche ou encore s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet.

Si vous vous retirez du projet ou êtes retiré(e) du projet, l'information et le matériel déjà recueillis dans le cadre de ce projet seront néanmoins conservés, analysés ou utilisés pour assurer l'intégrité du projet.

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet qui pourrait avoir un impact sur votre décision de continuer à participer à ce projet vous sera communiquée rapidement.

CONFIDENTIALITÉ

Durant votre participation à ce projet de recherche, la chercheuse responsable de ce projet ainsi que les membres de l'équipe de recherche recueilleront, dans un dossier de recherche, les renseignements vous concernant et nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet de recherche.

Ces renseignements peuvent comprendre votre nom, votre sexe, votre moyenne générale au secondaire (MGS) ainsi que les résultats de tous les tests et procédures réalisés dans le cadre du projet.

Tous les renseignements recueillis demeureront confidentiels, dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité de vos renseignements, un numéro de code vous sera attribué. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par la chercheuse responsable de ce projet de recherche.

Ces données de recherche seront conservées pendant au moins 10 ans par la chercheuse responsable de ce projet de recherche.

Les données de recherche pourront être publiées ou faire l'objet de discussions scientifiques, mais il ne sera pas possible de vous identifier.

À des fins de surveillance, de contrôle, de protection, de sécurité, votre dossier de recherche pourra être consulté par une personne mandatée par des organismes réglementaires ainsi que par des représentants du Cégep André- Laurendeau, de l'École de technologie supérieure ou du Comité d'éthique de la recherche. Ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis et les faire rectifier au besoin.

VOS DROITS EN TANT QUE PARTICIPANT

En acceptant de participer à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez la chercheuse responsable et l'institution de leur responsabilité civile et professionnelle.

SUIVI ÉTHIQUE

Le comité d'éthique de la recherche de l'École de technologie supérieure a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi.

PERSONNES-RESSOURCES

Pour toute question en lien avec le projet de recherche, vous pouvez contacter la chercheuse responsable au (514)364-3320 poste 6631 ou veronique.turcotte@clairendeau.qc.ca. Vous pouvez également contacter Caroline Cormier, responsable du recrutement, au (514) 363-3320 poste 6599 ou caroline.cormier@clairendeau.qc.ca. Pour toute question en lien avec vos droits en tant que participant à la recherche, vous pouvez contacter la coordonnatrice du Comité d'éthique de la recherche de l'École de technologie supérieure en téléphonant au (514) 396-8800 poste 7807.

CONSENTEMENT

Participant(e)

Je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et avoir disposé de suffisamment de renseignements et du temps nécessaire pour prendre ma décision. Après réflexion, je consens volontairement à participer à ce projet de recherche, aux conditions énoncées.

- ☐ J'accepte que la chercheuse principale me contacte à l'hiver 2020 pour deux entrevues d'approfondissement sur ma compréhension des concepts de solution saturée, insaturée et sursaturée.

Nom du(de la) participant(e)

Signature

Date

Adresse courriel

Numéro de téléphone

Personne qui obtient le consentement

J'ai expliqué au(à la) participant(e) tous les aspects pertinents de la recherche et j'ai répondu aux questions qu'il(elle) m'a posées.

Caroline Cormier

*Nom de la personne qui obtient
le consentement*

Signature

Date

Signature et engagement de la chercheuse responsable de ce projet de recherche

Je certifie qu'on a expliqué au(à la) participant(e) le présent formulaire d'information et de consentement, que l'on a répondu aux questions qu'il avait.

Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à remettre une copie signée du présent formulaire au(à la) participant(e).

Véronique Turcotte

Chercheuse responsable

Signature

Date



Questionnaire de collecte de données

Le laboratoire par enquête guidée pour provoquer un changement conceptuel en *Chimie des solutions*⁴

Quel est votre numéro de matricule (numéro d'étudiant)? _____

Quel est votre sexe? ☐ F ☐ M ☐ Non binaire ☐ Je préfère ne pas répondre

1. La solubilité d'un sel est de 35g par 100g d'eau. Une solution contient 37g de ce sel complètement dissout dans 100g d'eau.

- i. La solution est :
 - a. Insaturée
 - b. Saturée
 - c. Sursaturée *

À quel point êtes-vous certain(e) de votre réponse en i.?

- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

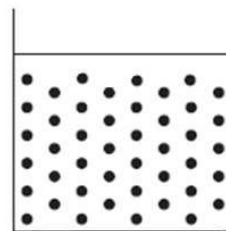
ii. Quelle est la raison de votre réponse en 1. i.

À quel point êtes-vous certain(e) de votre raison fournie en ii.?

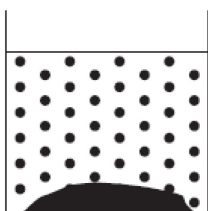
- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

⁴Dans cette annexe, la bonne réponse est identifiée à l'aide d'un astérisque, cet astérisque ne figurait pas dans la version distribuée aux étudiants.

2. La solution ci-contre est une solution saturée, les points représentent des molécules de sucre dissout.⁵



- i. La solution dans le bécher ci-dessous est :



- a. Insaturée
- b. Saturée *
- c. Sursaturée

À quel point êtes-vous certain(e) de votre réponse en i.?

- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

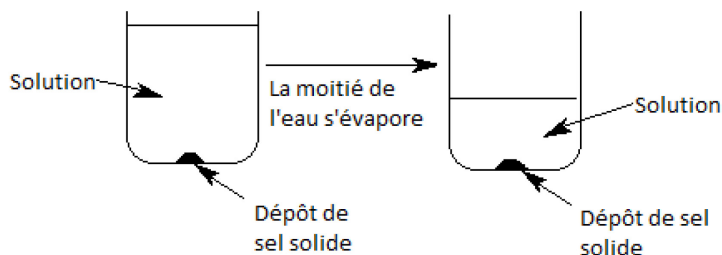
- ii. Quelle est la raison de votre réponse en 2. i.

À quel point êtes-vous certain(e) de votre raison fournie en ii.?

- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

⁵ Adapté de Pinarbasi, T., & Canpolat, N. (2003). Students' Understanding of Solution Chemistry Concepts. Journal of Chemical Education, 80(11), 1328.

3. Du sel est ajouté à un certain volume d'eau et le mélange est brassé jusqu'à ce que le sel ne se dissolve plus, puis le bécher est laissé sur un comptoir pendant un certain temps sans que l'eau ne s'évapore. Le sel qui ne se dissout pas se dépose au fond du bécher. Qu'arrivera-t-il à la concentration en sel dans la solution si la moitié de l'eau s'évapore? (On assume que la température est constante).⁶



- i. La concentration :
- Augmente
 - Diminue
 - Reste la même *

À quel point êtes-vous certain(e) de votre réponse en i.?

- Absolument certain(e)
- Certain(e)
- Incertain(e)
- J'ai répondu au hasard

- ii. Quelle est la raison de votre réponse en 3) i. ?
- Il y a la même quantité de sel dans moins d'eau.
 - Une plus grande quantité de sel se dépose au fond du bécher. *
 - Le sel ne s'évapore pas et reste en solution.
 - Il y a moins d'eau.

À quel point êtes-vous certain(e) de votre raison fournie en ii.?

- Absolument certain(e)
- Certain(e)
- Incertain(e)
- J'ai répondu au hasard

⁶ Adapté de Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739–744.

2. POSTTEST

**Questionnaire de collecte de données**

Le laboratoire par enquête guidée pour provoquer un changement conceptuel en *Chimie des solutions*

Quel est votre numéro de matricule (numéro d'étudiant)? _____

1. La solubilité d'un sel est de 10 g par 100 g d'eau. On met 13 g de ce sel dans 100 g d'eau et on mélange jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changement. La température est constante tout au long du processus.

- i. La solution obtenue est :
- a. Insaturée
 - b. Saturée *
 - c. Sursaturée

À quel point êtes-vous certain(e) de votre réponse en i.?

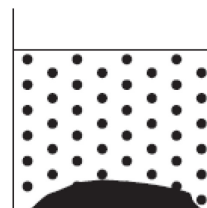
- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

- ii. Quelle est la raison de votre réponse en 1. i.?

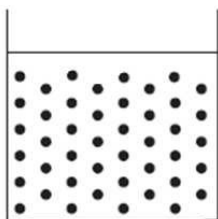
À quel point êtes-vous certain(e) de votre raison fournie en ii.?

- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

2. La solution ci-contre est une solution saturée, les points représentent des molécules de sucre dissout.⁷



- i. La solution dans le bécher ci-dessous est :



- a. Insaturée
- b. Saturée *
- c. Sursaturée

À quel point êtes-vous certain(e) de votre réponse en i.?

- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

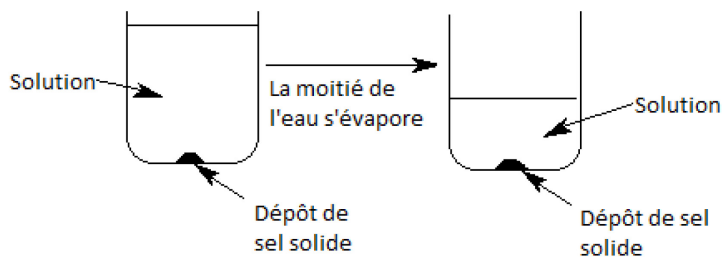
- ii. Quelle est la raison de votre réponse en 2. i.?

À quel point êtes-vous certain(e) de votre raison fournie en ii.?

- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

⁷ Adapté de Pinarbasi, T., & Canpolat, N. (2003). Students' Understanding of Solution Chemistry Concepts. Journal of Chemical Education, 80(11), 1328.

3. Du sel est ajouté à un certain volume d'eau et le mélange est brassé jusqu'à ce que le sel ne se dissolve plus, puis le bécher est laissé sur un comptoir pendant un certain temps sans que l'eau ne s'évapore. Le sel qui ne se dissout pas se dépose au fond du bécher. Qu'arrivera-t-il à la concentration en sel dans la solution si la moitié de l'eau s'évapore? (On assume que la température est constante).⁸



- i. La concentration :
- a) Augmente
 - b) Diminue
 - c) Reste la même *

À quel point êtes-vous certain(e) de votre réponse en i.?

- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

- ii. Quelle est la raison de votre réponse en 3. i. ?

À quel point êtes-vous certain(e) de votre raison fournie en ii.?

- a. Absolument certain(e)
- b. Certain(e)
- c. Incertain(e)
- d. J'ai répondu au hasard

⁸ Adapté de Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739–744.

ANNEXE F. GUIDE D'ENTREVUE

Les entrevues se font à l'aide des questions prédéterminées, mais une certaine flexibilité entoure le libellé des questions et des questions de relance potentielles. Les réponses sont libres. L'ordre des questions peut changer selon le cours de la conversation, mais les mêmes points principaux doivent être abordés à chaque entrevue.

Avant l'entrevue

- Se présenter.
- Expliquer le but et les objectifs.
- Décrire les moyens mis en œuvre pour assurer l'anonymat et la confidentialité des réponses données.
- Renouveler le consentement des étudiants à participer à la recherche.

Questions pendant l'entrevue

Section 1 : Compréhension du concept de solution saturée, insaturée et sursaturée

Pour cette portion de l'entrevue, le questionnaire prétest du participant sera utilisé pour guider la discussion. Pour chaque item du questionnaire les questions suivantes pourraient être posées :

- Peux-tu me m'expliquer le raisonnement qui t'as permis de répondre [mentionner ici la réponse de l'étudiant] à la question [mentionner le numéro de la question].
 - [Relance] Demander à l'étudiant d'élaborer sur ce qu'il entend par un élément de réponse trop vague, qui manque de clarté ou qui pourrait témoigner de la présence d'une conception alternative.
 - [Approfondissement pour l'item Q2] Si on filtrait la solution du deuxième bécher et que l'on enlevait le précipité, la solution filtrée serait-elle insaturée, saturée ou sursaturée? Peux-tu me dessiner de quoi aurait l'air une solution sursaturée en utilisant le même type de représentation?
 - [Approfondissement pour l'item Q3] La solution initialement présente dans le bécher est-elle insaturée, saturée ou sursaturée? La solution dans le bécher après l'évaporation est-elle insaturée, saturée ou sursaturée?
- Te souviens-tu pourquoi tu as mentionné que tu étais incertain(e) lorsque tu as répondu à cette question?

Section 2 : Laboratoire par enquête guidée

- Peux-tu m'expliquer les deux stratégies expérimentales que tu as retenues pour différencier une solution saturée, insaturée et sursaturée en laboratoire?
 - [Relance] Comment interpréteras-tu les données obtenues pour distinguer les solutions?
- Y a-t-il des stratégies expérimentales auxquelles tu avais pensé, mais que tu as décidé de laisser tomber?
 - [Relance] Peux-tu me décrire ces stratégies?
 - [Relance] Pourquoi as-tu décidé de laisser tomber ces stratégies?

En conclusion

Merci d'avoir participé aux entrevues pour mon projet d'innovation!